

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE RECUPERACION MEDIANTE PARACAIDAS DE
LA PRIMERA ETAPA DE UN COHETE PARA COLOCACION DE
PICOSATELITES EN ORBITA BAJA**

**VLADIMIR FERNANDO BENAVIDES FIGUEROA
JHON EDWIN CUENCA MADRID**

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE OCCIDENTE
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE AUTOMÁTICA Y ELECTRÓNICA
PROGRAMA DE INGENIERIA MECATRONICA
SANTIAGO DE CALI
2008**

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE RECUPERACION MEDIANTE PARACAIDAS DE
LA PRIMERA ETAPA DE UN COHETE PARA COLOCACION DE
PICOSATELITES EN ORBITA BAJA**

**VLADIMIR FERNANDO BENAVIDES FIGUEROA
JHON EDWIN CUENCA MADRID**

**Pasantía para optar al título de
Ingeniero Mecatrónico**

**Director
DRAGO DUSSICH
Ingeniero mecatrónico**

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE OCCIDENTE
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE AUTOMÁTICA Y ELECTRÓNICA
PROGRAMA DE INGENIERIA MECATRONICA
SANTIAGO DE CALI
2008**

Nota de aceptación:

Aprobado por el Comité de Grado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Universidad Autónoma de Occidente para optar al título de Ingeniero Mecatronico

ANDRES FELIPE NAVAS
Jurado

DRAGO DUSSICH
Director

Santiago de Cali, 10 de Julio de 2008

CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	13
INTRODUCCION	14
1. MARCO TEORICO	15
1.1. FUERZA DE ARRASTRE	15
1.1.1 Arrastre y rapidez terminal	16
1.2. SISTEMAS DE RECUPERACION DE UN COHETE	18
1.2.1 Paracaídas	18
1.2.2 Cinta de recuperación	18
1.3. INSTRUMENTACION	19
1.3.1 Acelerómetro	19
1.3.2 Altímetro	20
2. PLANTEAMIENTO DE LA MISIÓN	21
2.1. DESCRIPCION DEL PRODUCTO	21
2.2. MERCADO PRIMARIO	21
2.3. MERCADO SECUNDARIO	21
2.4. PREMISAS Y RESTRICCIONES	21
2.5. PARTES IMPLICADAS	21
3. IDENTIFICACION DE NECESIDADES	22

3.1. NECESIDADES DEL CLIENTE	22
3.2. METRICAS	23
4. GENERACION DE CONCEPTOS	24
4.1. CAJA NEGRA	24
4.2. DESCOMPOSICION FUNCIONAL	25
4.3. CONCEPTOS GENERADOS PARA LAS SUBFUNCIONES	26
4.4. EXPLORACION SISTEMATIZADA	27
4.4.1 Árboles de clasificación	27
4.5. COMBINACION DE CONCEPTOS	29
4.5.1 Combinación concepto 1	29
4.5.2 Combinación concepto 2	30
4.5.3 Combinación concepto 3	31
4.6. CONCEPTOS GENERADOS	32
4.6.1 Concepto 1	32
4.6.2 Concepto 2	33
4.6.3 Concepto 3	34
5. SELECCION DE CONCEPTOS	36
5.1. MATRIZ DE EVALUACION DE CONCEPTOS	36
6. ESPECIFICACIONES FINALES	38
7. ARQUITECTURA DEL PRODUCTO	39
7.1. ESQUEMA DEL SISTEMA DE RECUPERACION	40
7.2. AGRUPACION EN CONJUNTOS (CHUNKS)	41

7.3. LAYOUT O DISTRIBUCION GEOMETRICA	42
7.4. INTERACCIONES FUNDAMENTALES	43
7.5. INTERACCIONES INCIDENTALES	44
8. ARQUITECTURA SISTEMA ELECTRONICO	45
8.1. REQUISITOS	45
8.2. ESPECIFICACIONES	45
8.3. DIAGRAMA ESQUEMATICO	46
8.4. SENSORES DE ACTIVACION	47
8.4.1 Acelerómetro (ADXL330)	47
8.4.2 Altímetro (24PC15SMT)	48
8.5. OTROS COMPONENTES	49
8.5.1 Motor (HG2376-E2.0S)	49
8.5.2 Batería (NiMh) (Níquel Metal Hydride)	50
8.6. SISTEMA AUXILIAR DE RECUPERACION	52
8.6.1 Cypres	52
9. DISEÑO INDUSTRIAL	53
9.1. VALORACION DEL DISEÑO INDUSTRIAL	53
9.2. PREDOMINIO DEL DISEÑO INDUSTRIAL	53
10. DISEÑO PARA MANUFACTURA	54
10.1. COSTOS DE MANUFACTURA	54
11. PROTOTIPADO VIRTUAL	57
11.1. PROTOTIPO FINAL	57

12. DISEÑO DETALLADO	60
12.1. CALCULOS	60
12.1.1 Calculo de tensiones en el paracaídas principal	60
12.1.2 Calculo del resorte de expulsión	65
12.1.3 Selección del motor	67
12.2. PRUEBAS DE LABORATORIO	68
12.2.1 Fuerza necesaria para la expulsión del drogue y la tapa	68
12.2.2 Prueba tensión pita (cuerda) paracaídas	70
13. CONCLUSIONES	72
BIBLIOGRAFÍA	73
ANEXOS	74

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Necesidades del cliente	22
Cuadro 2. Métricas	23
Cuadro 3. Necesidades matriz de evaluación	36
Cuadro 4. Matriz de evaluación de conceptos	37
Cuadro 5. Especificaciones finales	38
Cuadro 6. Especificaciones sistema electrónico	45
Cuadro 7. Características técnicas acelerómetro	47
Cuadro 8. Características técnicas altímetro	48
Cuadro 9. Características técnicas motor	49
Cuadro 10. Características batería	51
Cuadro 11. Costos de componentes estándar	55
Cuadro 12. Componentes propios	55
Cuadro 13. Especificaciones (T-10R) paracaídas principal	61
Cuadro 14. Coeficientes de fricción	67
Cuadro 15. Pruebas de expulsión	68
Cuadro 16. Elementos y pruebas de laboratorio	69
Cuadro 17. Prueba Maquina Universal de Ensayos UTS200.3	70

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Fuerza de arrastre	16
Figura 2. Cinta de recuperación	19
Figura 3. Caja negra	24
Figura 4. Descomposición funcional	25
Figura 5. Árbol almacenamiento de energía	27
Figura 6. Árbol movimiento traslacional	28
Figura 7. Árbol señales de activación	28
Figura 8. Combinación de conceptos	29
Figura 9. Combinación concepto 1	29
Figura 10. Concepto 1	30
Figura 11. Combinación concepto 2	30
Figura 12. Concepto 2	31
Figura 13. Combinación concepto 3	31
Figura 14. Concepto 3	32
Figura 15. Vista isométrico concepto 1	32
Figura 16. Vista en corte concepto 1	33
Figura 17. Vista isométrico concepto 2	33
Figura 18. Vista lateral concepto 2	34

Figura 19. Vista isométrico concepto 3	34
Figura 20. Vista lateral concepto 3	35
Figura 21. Elementos físicos y funcionales	39
Figura 22. Arquitectura modular del sistema	40
Figura 23. Esquema del sistema de recuperación	40
Figura 24. Agrupación en conjuntos	41
Figura 25. Distribución geométrica	42
Figura 26. Interacciones fundamentales	43
Figura 27. Interacciones incidentales	44
Figura 28. Simulación sistema electrónico	46
Figura 29. Acelerómetro	47
Figura 30. Altímetro	48
Figura 31. Motor	49
Figura 32. Batería recargable	51
Figura 33. Componentes CYPRES	52
Figura 34. Predominio del diseño industrial	53
Figura 35. Costos de manufactura	54
Figura 36. Sistema no accionado	58
Figura 37. Sistema accionado	58
Figura 38. Vista explosionada del sistema	59
Figura 39. Caída sin paracaídas	60
Figura 40. Caída con paracaídas	62

Figura 41. Ecuación resuelta por integradores en matlab	63
Figura 42. Grafica de la velocidad límite o terminal	63
Figura 43. Separación y expulsión	64
Figura 44. Variables resorte	65
Figura 45. Resorte de expulsión	66
Figura 46. Puntos de contacto	67
Figura 47. Grafica F vs S	71
Figura 48. Diámetros de alambre	74
Figura 49. Coeficientes y exponentes resistencia máxima a la tensión	75
Figura 50. Porcentaje máximo de la resistencia máxima a la tensión	75

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Tablas para el diseño del resorte de expulsión	74
Anexo B. Planos mecánicos	75

RESUMEN

Este documento contiene el desarrollo de un proyecto llamado sistema de expulsión de paracaídas para la recuperación de cohetes, el cual se desarrolló en el centro de investigación de tecnología aeronáutica (CITA) de la escuela militar de aviación Marco Fidel Suárez.

Se utilizó la metodología de diseño estructurado y concurrente vista en diseño mecatronico la cual abordó temas tan importantes como la identificación de las necesidades del cliente, el diseño para manufactura, los prototipos y el diseño industrial. Gracias a esta metodología se logró seleccionar el mejor concepto del sistema de expulsión de los propuestos por el grupo de trabajo por medio del método de lluvia de ideas (brainstorming).

El proyecto integra los conocimientos de áreas como la mecánica, la electrónica, la física entre otras. Durante la fase de diseño detallado se realizaron algunos cálculos físicos tales como: el cálculo de la fuerza de tensión que sufre la pita (cuerda) de un paracaídas al momento de abrirse éste. También se realizaron los cálculos mecánicos para el diseño del resorte de expulsión del paracaídas auxiliar tipo drogue, esto con el fin de optimizar el diseño. Estos cálculos sirvieron para obtener una aproximación teórica antes de realizar las respectivas pruebas de laboratorio.

Otro aspecto importante en el diseño de este proyecto fue la correcta selección de los componentes electrónicos, como son los sensores de activación (acelerómetro, altímetro, timer), ya que estos son los encargados de enviar la señal de activación al circuito embebido el cual luego de procesar esta señal activa el mecanismo (motor acople) para así lograr la expulsión del paracaídas auxiliar tipo drogue.

Por último se realizó el prototipado virtual utilizando una herramienta CAD, en este caso Solid Works, un software especializado en el área del diseño asistido por computador, con esto se pudo dar a conocer al cliente el diseño terminado.

INTRODUCCION

Actualmente en Colombia el desarrollo de proyectos relacionados con la aeronáutica específicamente el modelismo espacial (cohetes) se esta empezando a desarrollar gracias al interés que se ha presentado por la escuela militar de aviación a través del centro de investigación de tecnología aeronáutica (CITA).

Una de las fases más importantes en la elaboración de un cohete es el desarrollo del sistema de recuperación de sus etapas ya que con esto se pueden volver a utilizar para un nuevo lanzamiento y evitar que se convierta en un elemento peligroso ya que este puede caer a una elevada velocidad.

En este caso la recuperación del cohete se dará utilizando un altímetro, un timer, un acelerómetro, que nos permite accionar un sistema para la expulsión del paracaídas auxiliar y principal.

1. MARCO TEORICO

Los cohetes deben tener un sistema de recuperación ya sea por paracaídas, cinta u otro mecanismo que se activará a una determinada altura, esto les permite aterrizar suavemente y de forma segura.

Se procederá entonces a explicar los siguientes conceptos relacionados con paracaidismo, física e instrumentación. Los cuales tienen que ver con el diseño del sistema de recuperación.

1.1. FUERZAS DE ARRASTRE

La fuerza de fricción cinética entre dos objetos sólidos es independiente de la rapidez relativa, la fuerza de arrastre de un objeto mientras se mueve a través de un fluido depende de la rapidez. La magnitud de la fuerza de arrastre sobre la mayoría de los objetos que se mueven a través del aire esta dada por la fórmula.

$$mag (\vec{F}_a) \approx \frac{1}{2} C \rho A v^2$$

Esta ecuación describe la magnitud de la fuerza de arrastre \vec{F}_a ejercida por un fluido sobre un objeto que se mueve a través de él con rapidez v .

- ρ : Es la densidad del fluido.
- A : Es el área de sección transversal del objeto.
- C : Es el coeficiente de arrastre, adimensional que depende de la forma y las características de la superficie del objeto.

Esta expresión solo funciona si A y v son suficientemente grandes, ρ es suficientemente pequeña y el fluido no es muy viscoso.

El coeficiente de arrastre C es aproximadamente 0.5 para una esfera y más pequeño para formas suaves y aerodinámicas, pero puede ser tan grande como 2 para formas irregulares¹.

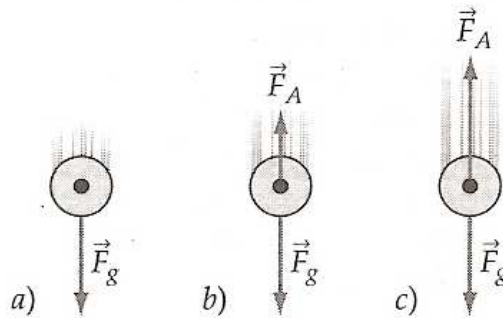
¹ MOORE, Thomas. Física: seis ideas fundamentales. 2 ed. México: McGraw Hill, 2005. p. 404.

1.1.1 Arrastre y rapidez terminal. Se ha considerado el movimiento simple de proyectil, en el cual la única fuerza significativa que actúa sobre un objeto es su peso. Sin embargo, de manera realista, los proyectiles que se mueven a través del aire experimentan cierto arrastre.

La fuerza de arrastre de un objeto de gran tamaño con área transversal A , que se mueve con una rapidez v bastante grande a través del aire, su magnitud se puede expresar así:

$$F_a = \frac{1}{2} C \rho A v^2$$

Figura 1. Fuerza de arrastre



Donde ρ es la densidad del aire (la cual es aproximadamente 1.2 kg/m^3 a temperatura ambiente y presión estándar) y C es una constante sin unidades (llamada coeficiente de arrastre) que depende de la forma del objeto.

Por ejemplo, un objeto que cae verticalmente desde el reposo, se puede determinar cualitativamente lo que ocurrirá. Al principio la fuerza de arrastre es despreciable, y el objeto cae esencialmente libre hacia abajo. (Figura 1.a) pero conforme su rapidez hacia abajo se incrementa, la fuerza de arrastre también aumenta, disminuyendo la fuerza neta sobre el objeto y por ende su aceleración hacia abajo (Figura 1.b). Sin embargo, la rapidez hacia abajo del objeto continuará aumentando hasta que la fuerza de arrastre iguale al peso (Figura 1.c) conforme el objeto se aproxima a la rapidez terminal, la fuerza neta sobre él tiende a cero. Cuando la fuerza neta es cero, el objeto ya no se acelera más, pero continúa cayendo con velocidad constante hacia abajo.

A la magnitud de esta velocidad final constante hacia abajo se le llama rapidez terminal v_t del objeto. La formula es:

$$v_t = \sqrt{\frac{2mg}{C\rho A}}$$

De manera matemática, si el eje z se define como positivo hacia arriba, entonces el componente z de la segunda ley de Newton implica que.

$$ma_{z\rho} = F_{net,z} = -mg + \frac{1}{2}C\rho A v_z^2 = -mg + mg\left(\frac{C\rho A}{2mg}\right)(v_z^2) = -mg\left(1 - \frac{v_z^2}{v_t^2}\right)$$

$$\Rightarrow a_z = -g\left(1 - \frac{v_z^2}{v_t^2}\right)$$

(el termino de fuerza de arrastre es positivo porque actúa hacia arriba, sobre un objeto que cae hacia abajo) se puede ver directamente de esta ecuación que la aceleración vertical se vuelve cada vez más pequeña hasta que se aproxima a cero conforme v_z tiende a la rapidez terminal v_t .

Para encontrar v_z , como una función de t , se tiene que integrar el lado derecho de la ecuación anterior, y para hacerlo, ya se tiene que saber como v_z , depende de t .

Una vez que se conocen las fuerzas que actúan sobre un objeto, se puede usar la segunda ley de newton para encontrar su aceleración $\vec{a}(t)$ y entonces integrar $\vec{a}(t)$ con respecto al tiempo para encontrar la velocidad \vec{v}_t del objeto y la posición \vec{r}_t como funciones del tiempo.

1.2. SISTEMAS DE RECUPERACION DE UN COHETE

Los sistemas más comunes en la recuperación de un cohete son:

1.2.1 Paracaídas. El paracaídas es el método más usual de recuperar un cohete para que descienda lentamente y de forma segura.

Para los modelos pequeños de hasta 300gr de peso, se suele utilizar polietileno de alta densidad (por ejemplo: el utilizado para las bolsas de residuos, con espesores de 0,4 a 0,6mm). Para modelos más pesados se utilizan telas como: nylon, poliéster, tela de avión, etc.

Para trazar un paracaídas se recomienda hacer una plantilla en cartulina o cartón y marcar un hexágono u octágono sobre el plástico o tela; para luego recortarlo y colocarle ojalillos de refuerzo en los vértices de la figura, donde se atarán hilos de Nylon o Poliéster de un largo de 1,5 veces el diámetro del paracaídas.

Las velocidades de descenso buscadas con un paracaídas son del orden del 3,5 a 4,5m/s.

La fórmula para el cálculo del área del paracaídas es la siguiente:

$$S = \left[\frac{2 \cdot g \cdot m}{\rho \cdot Cd \cdot v^2} \right]$$

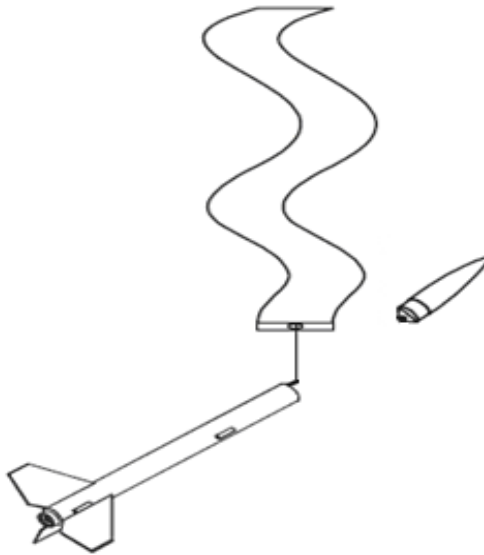
Donde:

- S : Superficie
- g : 9.81m/s aceleración de la gravedad
- m : Masa del cohete en gramos con el motor consumido
- ρ : Densidad del aire 1225gr/m³
- Cd : Coeficiente de resistencia
- v : Velocidad de descenso seleccionada para su modelo

1.2.2 Cinta de recuperación. Son utilizadas para cohetes pequeños de menos de 30gr, para cohetes que vuelan a grandes alturas o para días de mucho viento, donde corremos el riesgo de no recuperar el modelo. Los materiales utilizados son similares a los de los paracaídas: papel crep, nylon, o poliéster. Se recomienda utilizar colores vivos para poder visualizar el modelo en descenso.

El área de la cinta depende del peso del cohete, y debería tener al menos $8,5\text{cm}^2$ por gramo de masa. En general el largo de la cinta es 10 veces el ancho de la misma.

Figura 2. Cinta de recuperación



1.3. INSTRUMENTACION

1.3.1 Acelerómetro. Es un instrumento destinado a medir aceleraciones. Se construye uniendo una masa m a un dinamómetro cuyo eje está en la misma dirección. Por la Ley Fundamental de la Dinámica o Segunda Ley de Newton.

$$\vec{f} = m \cdot \vec{a}$$

Donde \vec{f} representa las fuerzas que actúan sobre la masa m y \vec{a} es la aceleración. Dado que el dinamómetro indica el módulo de \vec{f} , y el valor de m es una característica del instrumento, se puede conocer el módulo de la aceleración \vec{a} :

$$\vec{a} = \frac{\vec{f}}{m}$$

El acelerómetro es uno de los transductores más versátiles, siendo el más común el piezoeléctrico por compresión. Este se basa en el principio de que cuando se comprime un retículo cristalino piezoeléctrico, se produce una carga eléctrica proporcional a la fuerza aplicada.

Los elementos piezoeléctricos están hechos normalmente de circonato de plomo. Estos se encuentran comprimidos por una masa, sujeta al otro lado por un muelle y todo el conjunto dentro de una caja metálica. Cuando el conjunto es sometido a vibración, el disco piezoeléctrico se ve sometido a una fuerza variable, proporcional a la aceleración de la masa. Debido al efecto piezoeléctrico se desarrolla un potencial variable que será proporcional a la aceleración. Este potencial variable se puede registrar sobre un osciloscopio o voltímetro.

Este dispositivo junto con los circuitos eléctricos asociados se puede usar para la medida de velocidad y desplazamiento además de la determinación de formas de onda y frecuencia. Una de las ventajas principales de este tipo de transductor es que se puede hacer tan pequeño que su influencia sea despreciable sobre el dispositivo vibrador. El intervalo de frecuencia típica es de 2Hz a 10KHz.

1.3.2 Altimetro. Es un instrumento de medición que indica la diferencia de altitud entre el punto donde se encuentra localizado y un punto de referencia; habitualmente se utiliza para conocer la altura sobre el nivel del mar de un punto.

- **Altimetro barométrico.** Es el más común de todos, su funcionamiento está basado en la relación entre presión y altitud, la presión atmosférica desciende con la altitud, aproximadamente, 1 milibar por cada 27 pies de altitud. Toman como base de referencia el nivel del mar, pero su funcionamiento está acondicionado a los cambios meteorológicos, por lo que un altímetro de cierta calidad debería permitir compensar las variaciones de presión provocadas por el clima.

Estos altímetros tienen un funcionamiento irregular si el cambio de altitud es muy brusco, ya que tardan en responder y captar la presión atmosférica; tampoco funcionan bien si, por ejemplo, se realiza la ascensión en un automóvil con las ventanas cerradas, la presión en el interior de este será diferente a la del exterior.

La fórmula para calibrar un altímetro (hasta 36.090 pies) es la siguiente:

$$h = \frac{\left(1 - \left(P_0 / P_{ref}\right)^{0.19026}\right) 28815}{0.00198122}$$

Dónde h indica la altitud en pies, P_0 es la presión estática y P_{ref} es la presión de referencia (ambas en la misma unidad).

2. PLANTEAMIENTO DE LA MISION

El planteamiento de la misión definió los principales sectores de marketing en donde se introducirá el producto y las partes implicadas en el desarrollo de éste.

2.1. DESCRIPCION DEL PRODUCTO

- Sistema de expulsión de paracaídas, para la recuperación de cohetes

2.2. MERCADO PRIMARIO

- Coheteria experimental

2.3. MERCADO SECUNDARIO

- Coheteria aficionada

2.4. PREMISAS Y RESTRICCIONES

- Activación del sistema (diferentes maneras)
- Recuperación del cohete

2.5. PARTES IMPLICADAS

- Escuela militar de aviación (usuarios)

3. IDENTIFICACION DE NECESIDADES

3.1. NECESIDADES DEL CLIENTE

Las necesidades del cliente se obtuvieron mediante entrevista directa con el ingeniero Jaime Aguilar Marmolejo, director del CITA (centro de investigación en tecnología aeronáutica) y el Teniente Guillermo Poveda Z. de la escuela militar de aviación Marco Fidel Suárez de Cali.

Cuadro 1. Necesidades del cliente

	NECESIDADES	IMP
1	Que el sistema sea confiable	5
2	El sistema debe expulsar un paracaídas tipo drogue	5
3	Que el sistema sea active de diferentes maneras	5
4	El sistema debe activarse a cierta altura	5
5	Que el sistema sea seguro para el operario	5
6	El sistema debe tener una respuesta rápida	4
7	Que el sistema tenga bajo peso	4
8	El paracaídas principal debe soportar el peso necesario	4
9	El sistema debe ser reutilizable	4
10	El sistema debe ser de un material resistente	4
11	El sistema debe ocupar poco espacio	3
12	El sistema debe ser de fácil mantenimiento	3
13	El sistema debe ser hermético	2

3.2. METRICAS

Las métricas permitieron asignar un valor y una unidad a las necesidades del cliente.

Cuadro 2. Métricas *

	NECESIDADES	METRICAS	UND
1	7	Peso	Kg
2	11	Volumen	m ³
3	2,4,6	Activación por altitud	m
4	8	Tensiones	N
5	1,6	Tiempo de respuesta	ms
6	1,3,4	Activación sistema	Bin
7	5,12	Seguridad (operarios)	Sub
8	7,9,10,13	Material bahía	Sub
9	5,12	Mantenimiento	Sub
10	1,2,6	Confiabilidad	Sub

* Sistema Internacional de Unidades, SIU.

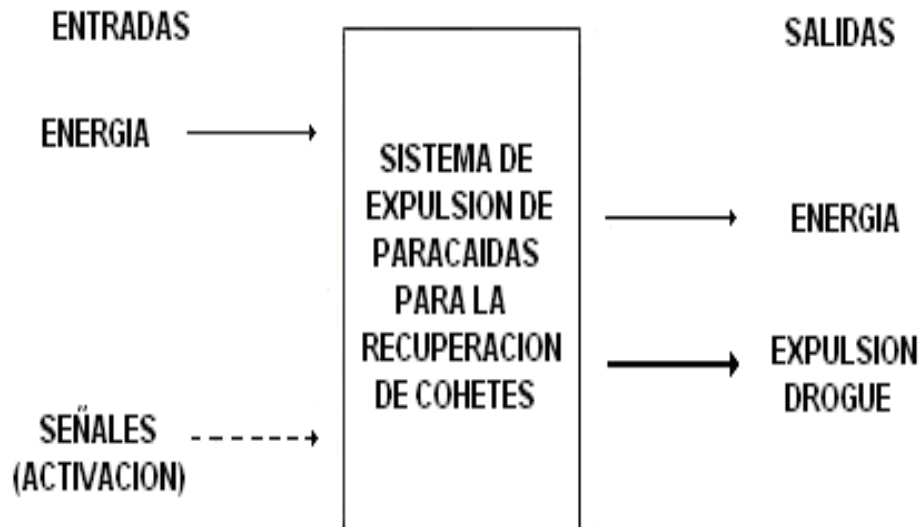
4. GENERACION DE CONCEPTOS

Para generar los conceptos se utilizó la técnica de lluvia de ideas (brainstorming) ya que esta es una herramienta que facilita el surgimiento de nuevas ideas en un corto periodo de tiempo al grupo de trabajo.

4.1. CAJA NEGRA

Esta permitió el estudio del producto desde el punto de vista de las entradas que recibe y las salidas que producirá el sistema.

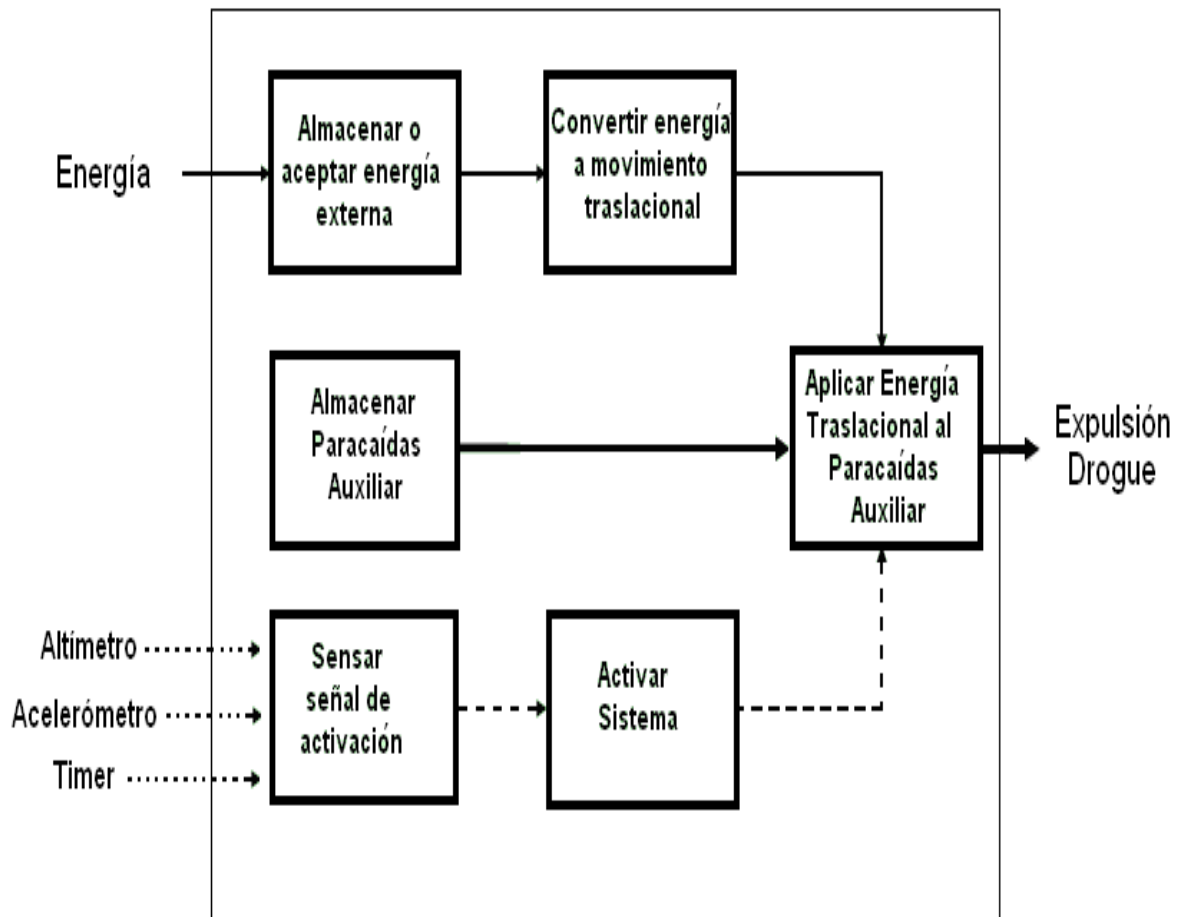
Figura 3. Caja negra



4.2. DESCOMPOSICION FUNCIONAL

La descomposición funcional permitió jerarquizar los procesos del sistema en diferentes niveles, para ello se descompuso una función importante en subfunciones.

Figura 4. Descomposición funcional



4.3. CONCEPTOS GENERADOS PARA LAS SUBFUNCIONES

Se generaron los siguientes conceptos para las subfunciones del sistema de recuperación.

Almacenar o aceptar energía externa.

- Batería
- Celda de combustible
- Celdas solares

Convertir energía a movimiento traslacional

- Motor
- Actuador
- Ignitor

Almacenar energía traslacional

- Resorte
- Pistón
- Pólvora

Almacenar Paracaídas

- Bahía paracaídas

Sensar señal de activación.

- Altímetro
- Acelerómetro
- Timer

Activar sistema

- Circuito embebido

4.4. EXPLORACION SISTEMATIZADA

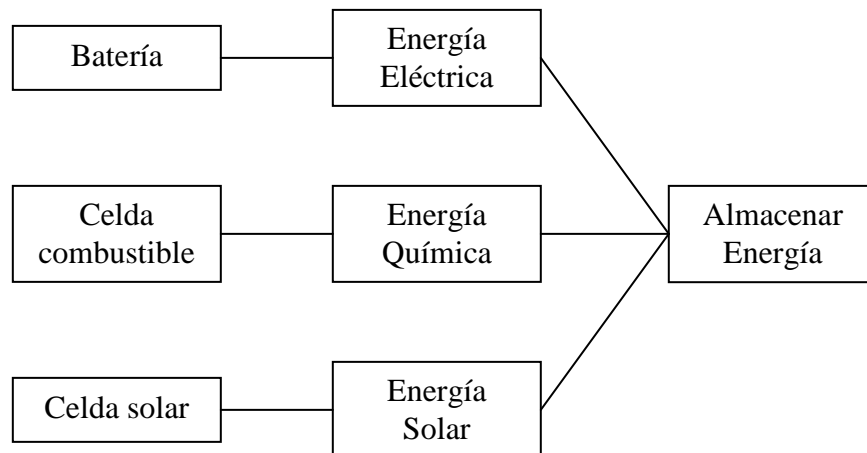
Todos los conceptos generados en la etapa de subfunciones deben ser explorados de una forma sistematizada, para organizar y sintetizar estos conceptos se utilizaron dos métodos:

- Árbol de clasificación de conceptos.
- Tabla de combinación de conceptos.

4.4.1 Árboles de clasificación. Esta técnica permitió depurar las ramas menos promisorias de los conceptos generados para cada una de las subfunciones.

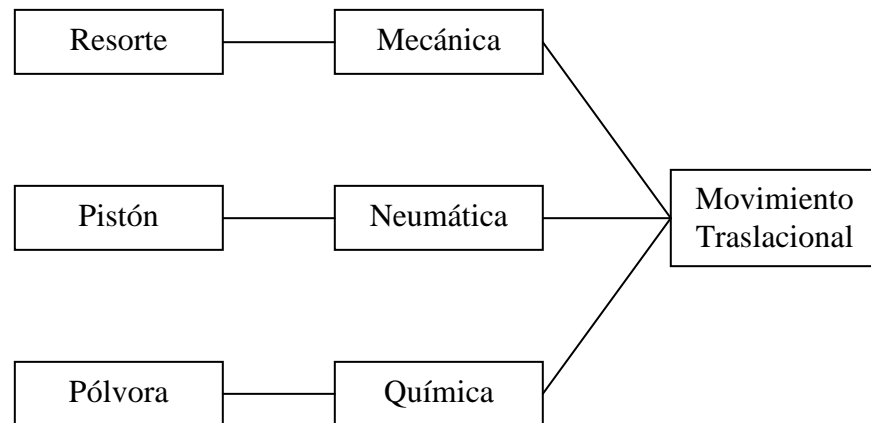
- **Almacenamiento de energía.**

Figura 5. Árbol almacenamiento de energía



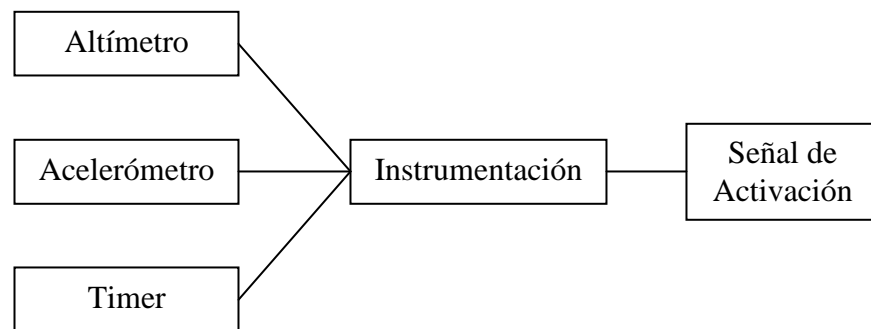
- **Movimiento traslacional.**

Figura 6. Árbol movimiento traslacional



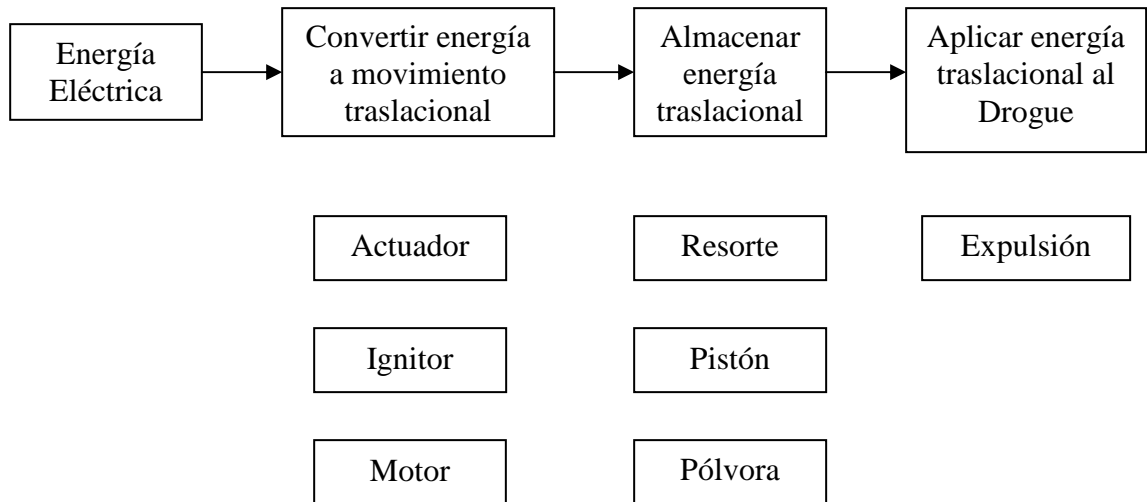
- **Señales de activación.**

Figura 7. Árbol señales de activación



4.5. COMBINACION DE CONCEPTOS

Figura 8. Combinación de conceptos



4.5.1 Combinación concepto 1.

Figura 9. Combinación concepto 1

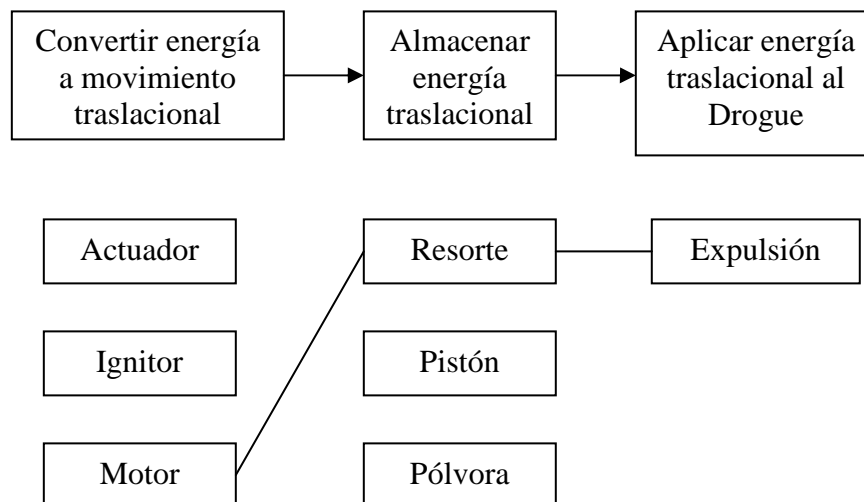
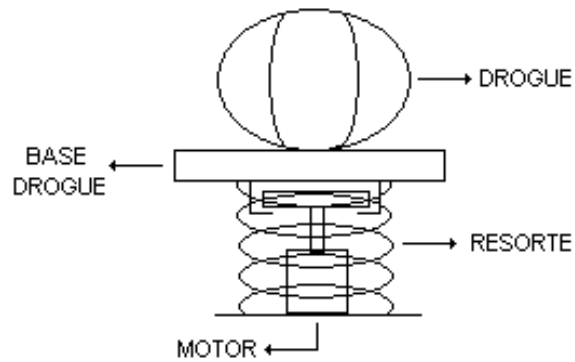


Figura 10. Concepto 1



4.5.2 Combinación concepto 2.

Figura 11. Combinación concepto 2

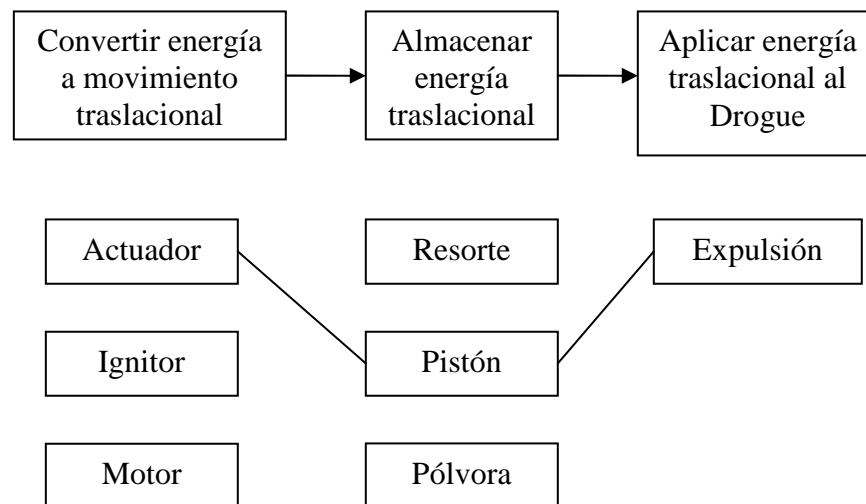
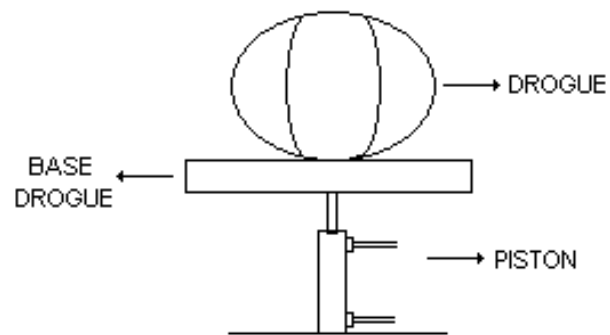


Figura 12. Concepto 2



4.5.3 Combinación concepto 3.

Figura 13. Combinación concepto 3

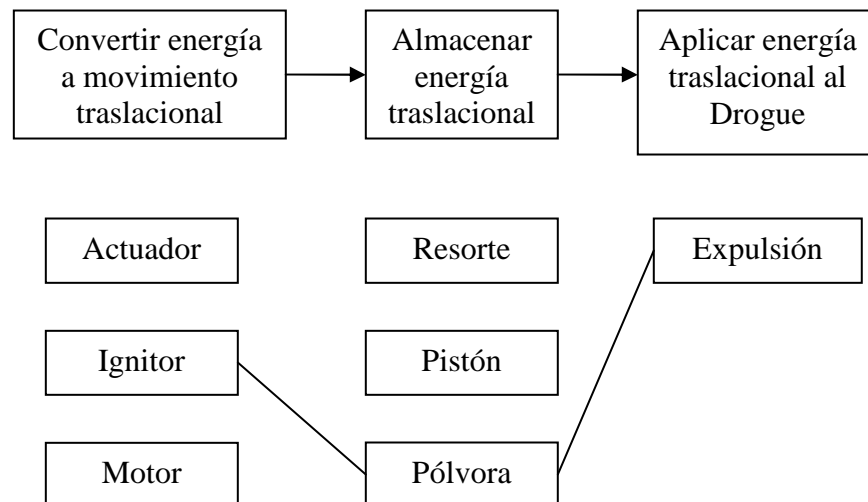
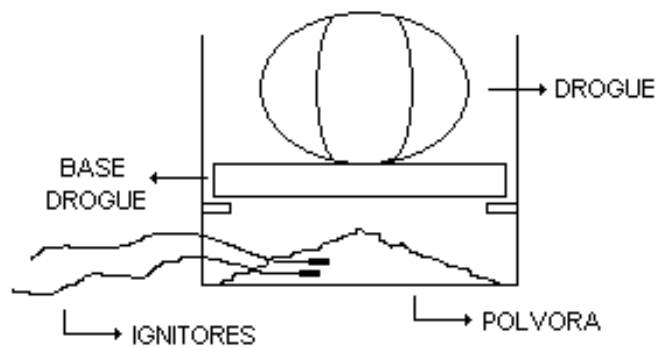


Figura 14. Concepto 3



4.6. CONCEPTOS GENERADOS

4.6.1 Concepto 1. Este concepto consiste en un motor que recibe la señal de activación del sistema, el cual libera un resorte comprimido a través de un acople en T asegurado por dos retenedores, permitiendo así la expulsión del drogue.

Figura 15. Vista isométrico concepto 1

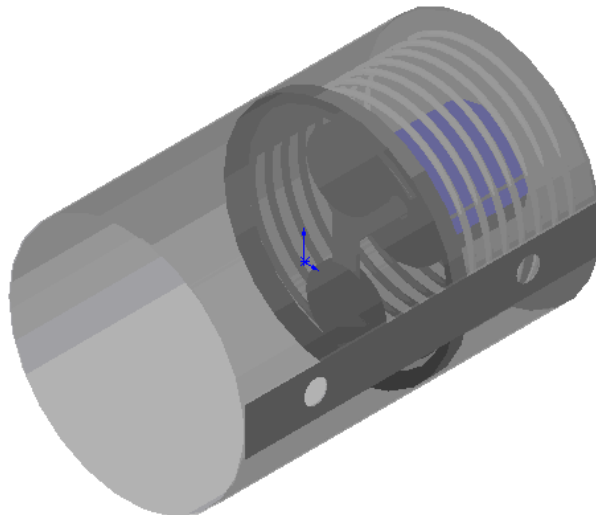
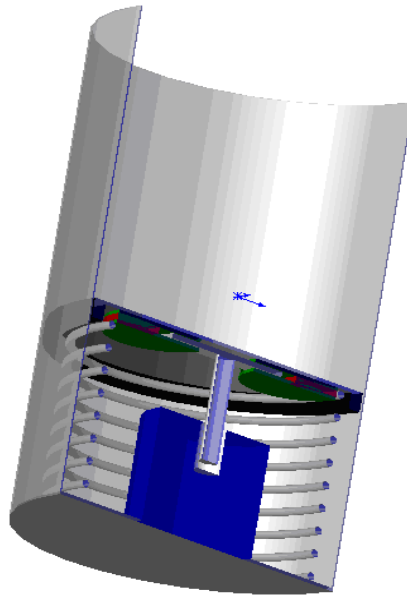


Figura 16. Vista en corte concepto 1



4.6.2 Concepto 2. Este concepto tiene un pistón neumático el cual deberá ser alimentado por un tanque de gas comprimido, una electro válvula recibirá la señal de activación la cual accionará el pistón neumático y por lo tanto el drogue será expulsado.

Figura 17. Vista isométrico concepto 2

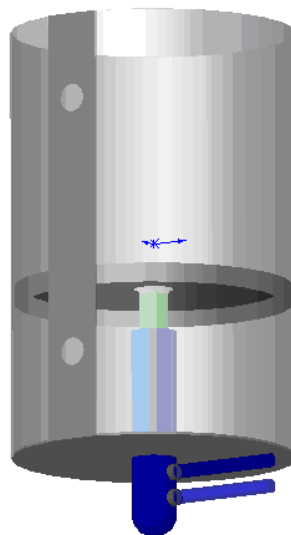
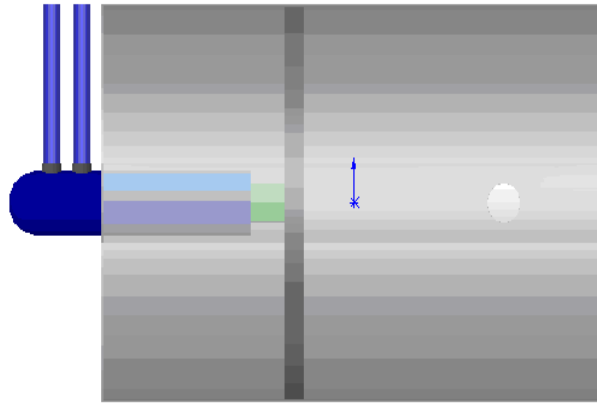


Figura 18. Vista lateral concepto 2



4.6.3 Concepto 3. Este concepto tiene una carga pirotécnica que será activada a través de ignitores, los cuales reciben la señal de activación del sistema, una vez se active la carga pirotécnica el drogue será expulsado.

Figura 19. Vista isométrico concepto 3

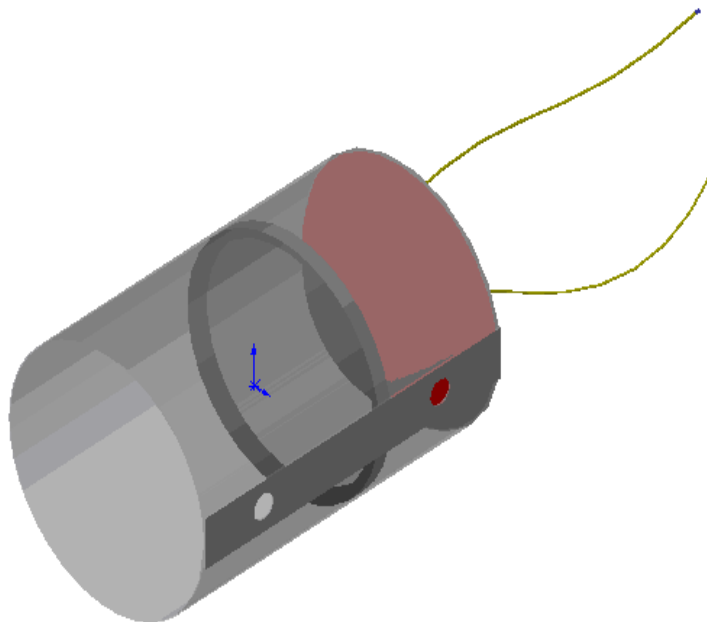
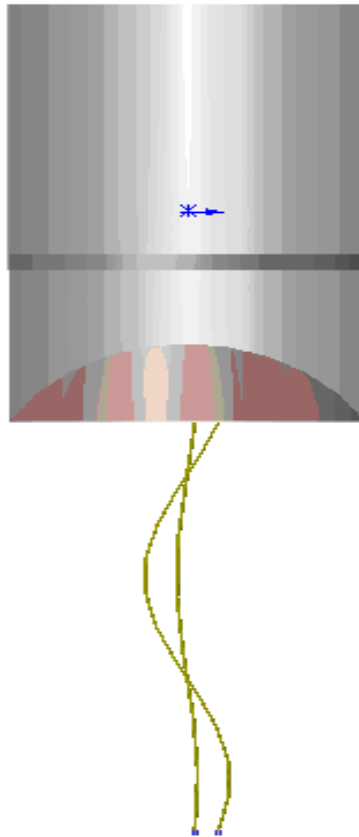


Figura 20. Vista lateral concepto 3



5. SELECCION DE CONCEPTOS

Se utilizó la matriz de evaluación de conceptos basada en las necesidades del cliente, lo cual permitió valorar los conceptos de una forma conjunta.

5.1. MATRIZ DE EVALUACION DE CONCEPTOS

Cuadro 3. Necesidades matriz de evaluación

NECESIDADES	IMP
Que el sistema sea confiable	5
Que el sistema sea active de diferentes maneras	5
El sistema debe activarse a cierta altura	5
Que el sistema tenga bajo peso	5
El sistema debe tener una respuesta rápida	4
Que el sistema sea seguro para el operario	4
El sistema debe ser reutilizable	4
El sistema debe ocupar poco espacio	3
El sistema debe ser de fácil mantenimiento	3
El sistema debe ser hermético	2

Cuadro 4. Matriz de evaluación de conceptos

		Conceptos					
		Concepto 1		Concepto 2		Concepto 3	
Criterio de selección	% ponderac	Nota	Criterio ponderado	Nota	Criterio ponderado	Nota	Criterio ponderado
Confiable	12,5	3	0,375	3	0,375	3	0,375
Activación sistema	12,5	4	0,50	4	0,50	4	0,50
Altura activación	12,5	4	0,50	4	0,50	4	0,50
Bajo peso	12,5	3	0,375	2	0,25	4	0,50
Respuesta rápida	10	3	0,30	4	0,40	3	0,30
Seguro para el personal	10	4	0,40	4	0,40	2	0,20
Reutilizable	10	4	0,40	4	0,40	2	0,20
Ocupar poco espacio	7,5	4	0,30	4	0,30	4	0,30
Mantenimiento	7,5	4	0,30	4	0,30	4	0,30
Hermético	5	4	0,20	4	0,20	4	0,20
	Total	3,65		3,625		3,375	
	Orden	1		2		3	
	Continuar	DESARROLLAR					

6. ESPECIFICACIONES FINALES

Con las especificaciones finales se pueden observar las características técnicas principales con las que contará el diseño del sistema de recuperación.

Cuadro 5. Especificaciones finales*

	METRICAS	UND	VALOR
1	Peso	Kg	1.47
2	Volumen	m^3	11,78
3	Activación por altitud	m	457,20
4	Tensiones	N	779.561
5	Tiempo de respuesta	ms	2
6	Sistema redundante	Bin	1
7	Seguridad (operarios)	Sub	Si
8	Mantenimiento	Sub	Si
9	Confiabilidad	Sub	Si

* Sistema Internacional de Unidades, SIU.

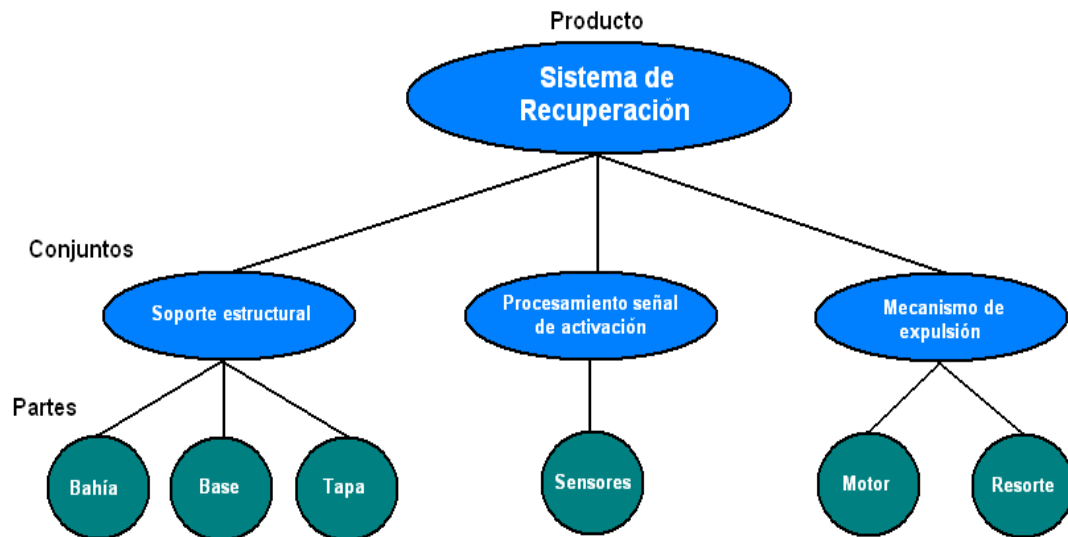
7. ARQUITECTURA DEL PRODUCTO

Figura 21. Elementos físicos y funcionales



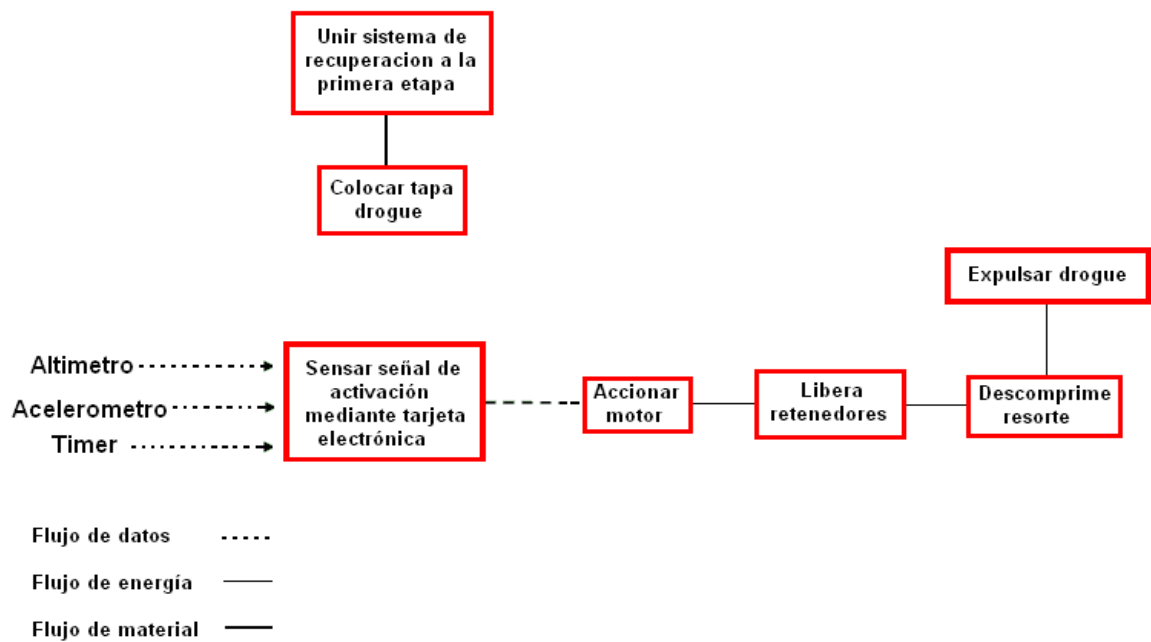
Al observar los elementos físicos y funcionales se pudo determinar que el sistema tiene una arquitectura modular ya que los elementos físicos desempeñan una función bien definida.

Figura 22. Arquitectura modular del sistema



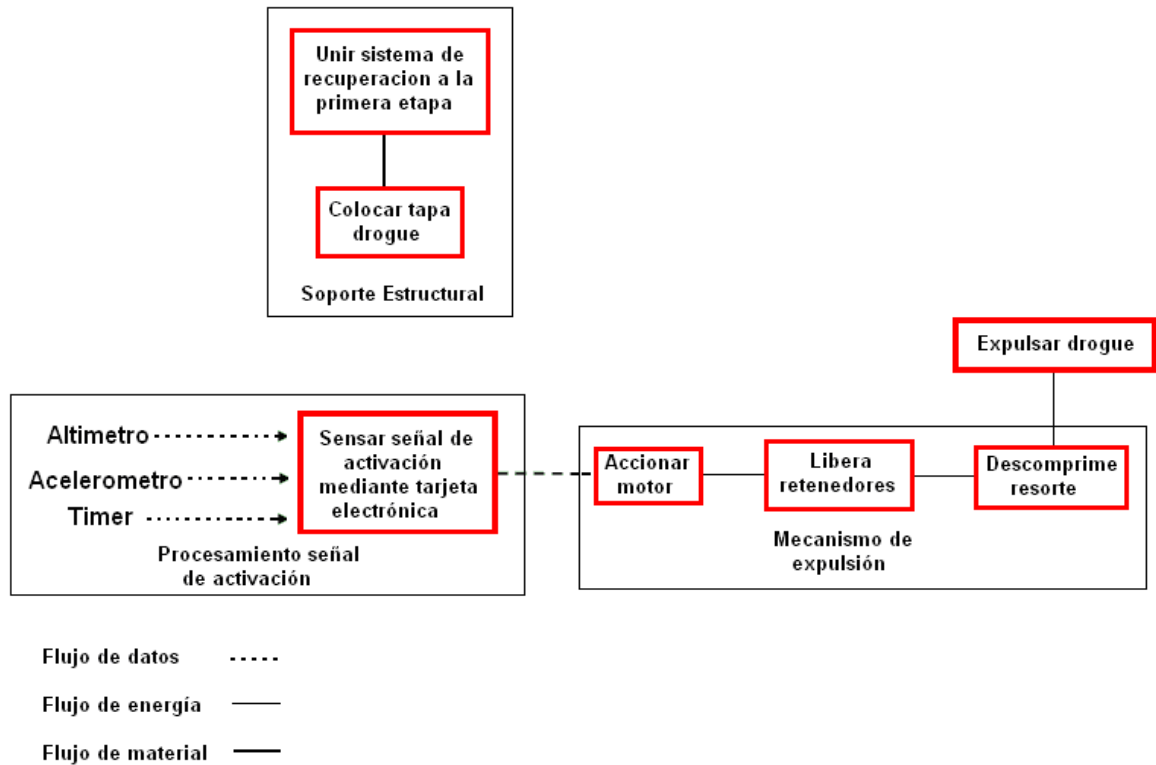
7.1. ESQUEMA DEL SISTEMA DE RECUPERACION

Figura 23. Esquema del sistema de recuperación



7.2. AGRUPACION EN CONJUNTOS (CHUNKS)

Figura 24. Agrupación en conjuntos

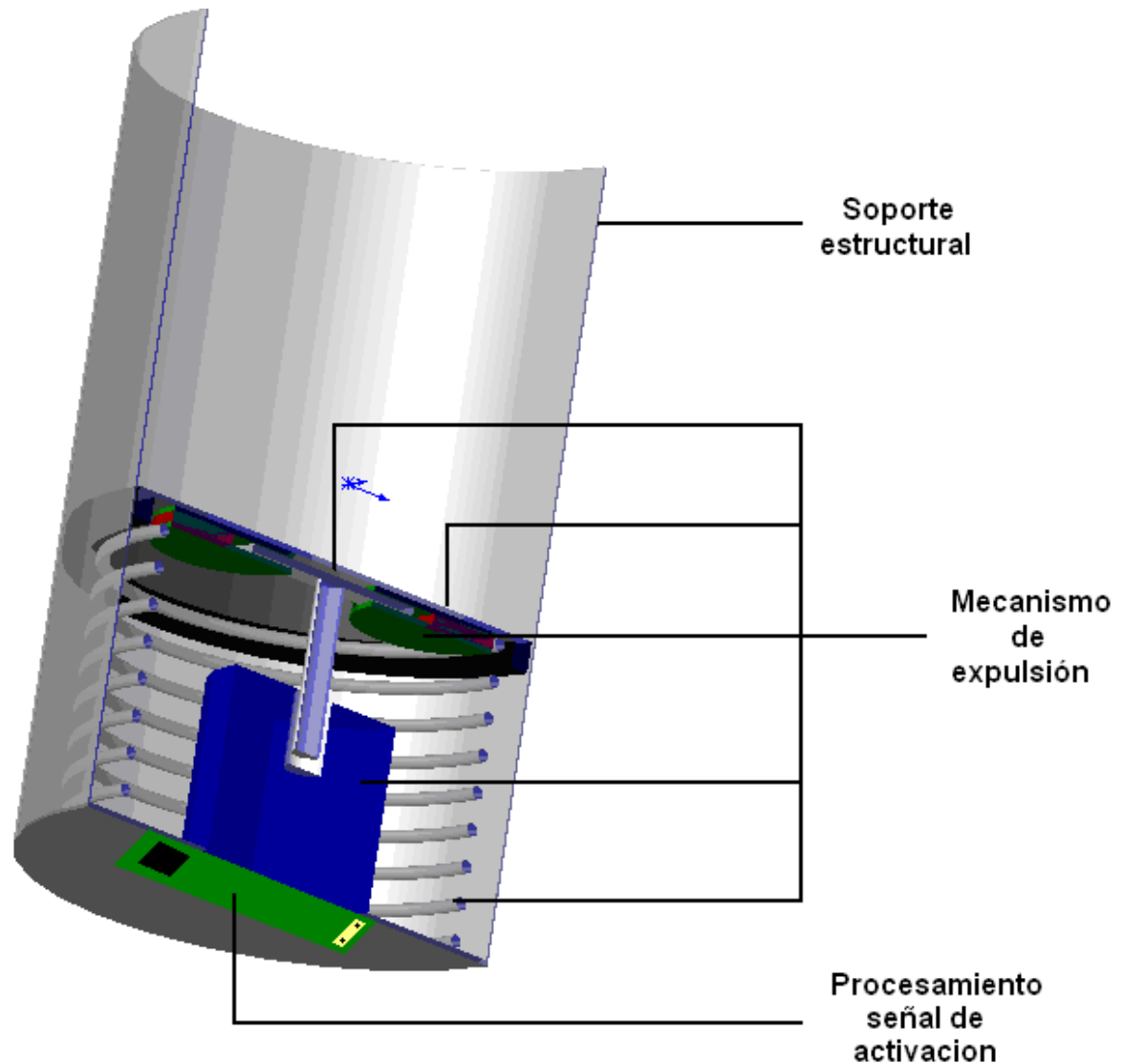


- **Soporte estructural.** Este conjunto permite acoplar el sistema al cohete, y es la estructura del sistema ya que en el se alojan todos los componentes de éste.
- **Procesamiento señal de activación.** Este conjunto recibe la señal de activación, la procesa y da la orden para la expulsión del drogue.
- **Mecanismo de expulsión.** Este conjunto permite expulsar el drogue ya que al accionar el motor se libera el acople de los retenedores por lo tanto se descomprime el resorte logrando la expulsión del drogue.

7.3. LAYOUT O DISTRIBUCION GEOMETRICA

El layout o distribución geométrica permitió la ubicación de los diferentes componentes del sistema de una manera correcta dentro del soporte estructural.

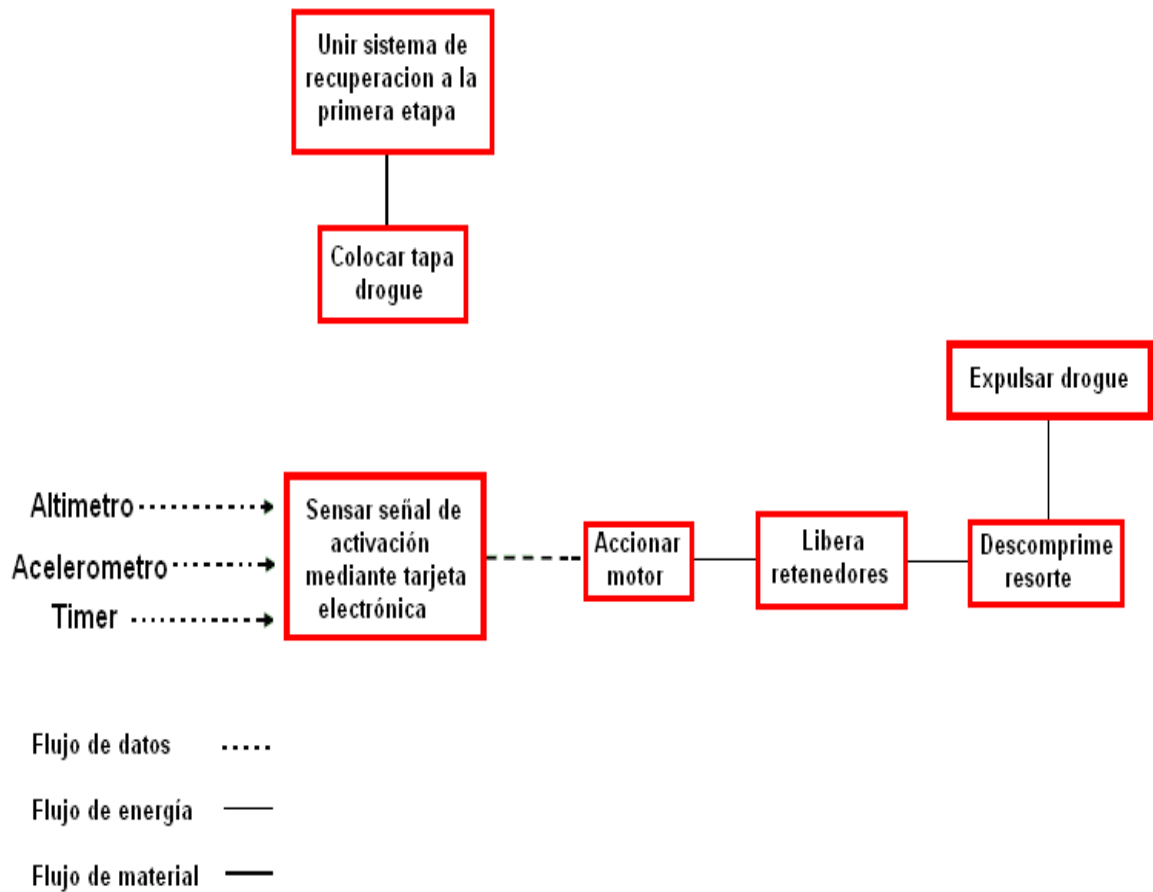
Figura 25. Distribución geométrica



7.4. INTERACCIONES FUNDAMENTALES

En la figura 26 se pueden observar las principales interacciones fundamentales del sistema de recuperación para su correcto funcionamiento.

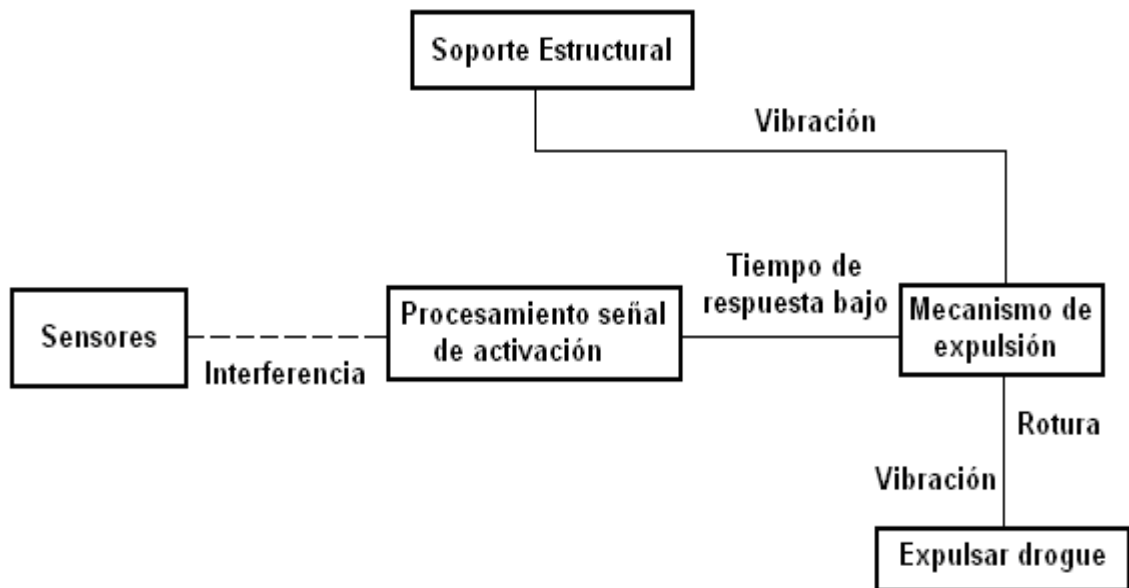
Figura 26. Interacciones fundamentales



7.5. INTERACCIONES INCIDENTALES

En la figura 27 se pueden observar algunas interacciones incidentales que pueden lograr que el sistema de recuperación o algunos de sus componentes no funcionen correctamente.

Figura 27. Interacciones incidentales



8. ARQUITECTURA SISTEMA ELECTRONICO

8.1. REQUISITOS

El circuito embebido debe ser capaz de funcionar en situaciones extremas como soportar altos cambios de temperatura, vibraciones e interferencias, ya que de esté depende que el sistema de expulsión del drogue funcione correctamente.

8.2. ESPECIFICACIONES

El circuito trabajará con una batería de 9V, esté recibe la señal de activación de dos sensores (acelerómetro y altímetro), que al activarse envían la señal al circuito, esté la procesa y activa el motor.

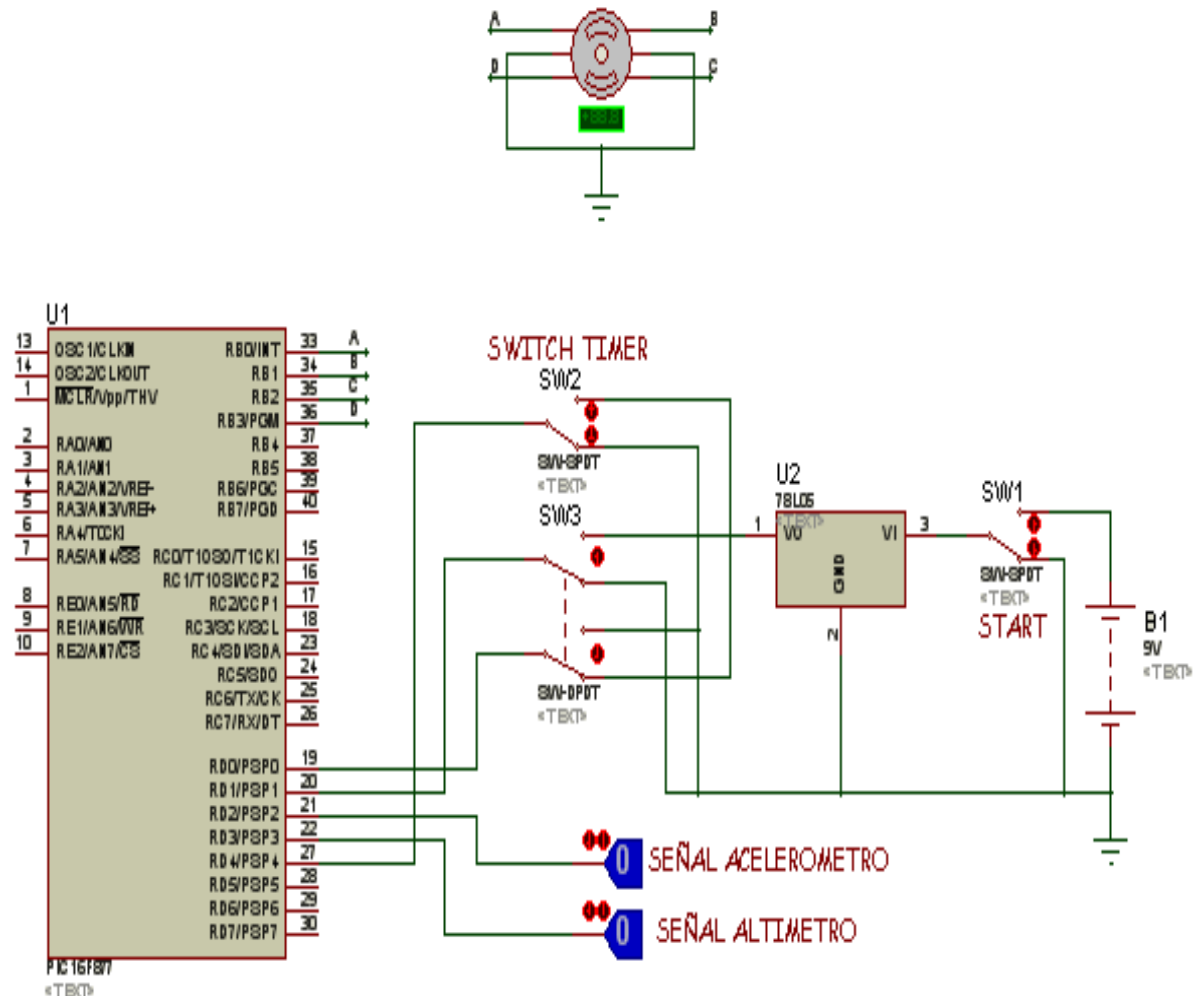
Cuadro 6. Especificaciones sistema electrónico^{*}

ESPECIFICACIONES	VALOR	UND
Tiempo de respuesta	2	<i>ms</i>
Voltaje alimentación	9	V

^{*} Sistema Internacional de Unidades, SIU.

8.3. DIAGRAMA ESQUEMATICO

Figura 28. Simulación sistema electrónico

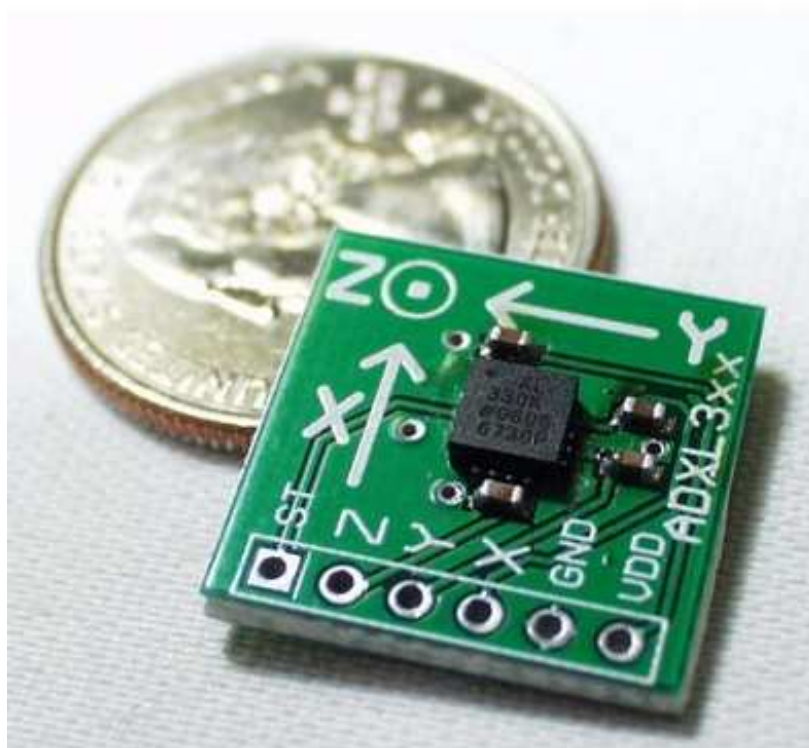


La simulación de activación del sistema se realizó en PROTEUS (programa de simulación electrónica), en la Figura 28 se puede observar el diseño esquemático del circuito electrónico, el cual se activa ya sea por un timer programado en el microprocesador el cual se activa una vez se halla separado las dos etapas del cohete por medio de un interruptor final de carrera o por las señales de los sensores (acelerómetro y/o altímetro). Se debe tener en cuenta que estas señales ya vienen procesadas por una computadora de vuelo, permitiendo así el manejo de estas como si fueran señales digitales.

8.4. SENSORES DE ACTIVACION

8.4.1 Acelerómetro (ADXL330).

Figura 29. Acelerómetro

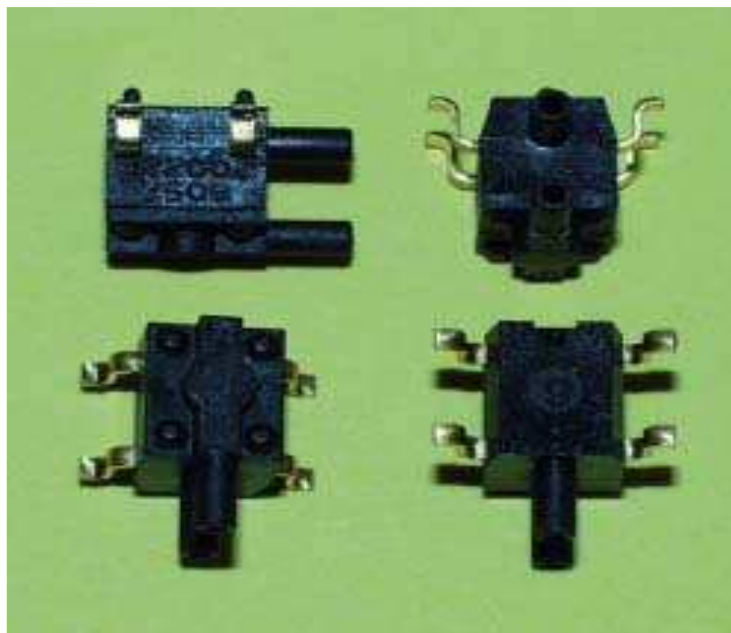


Cuadro 7. Características técnicas acelerómetro

Triple eje (X Y Z)
Rango del sensor: +/- 3g
Voltaje de operación: 2.0 a 3.6 V
Rango de temperatura: -25°C a +70°C
Dimensiones: 4 x 4 x 1.45 mm

8.4.2 Altímetro (24PC15SMT).

Figura 30. Altímetro



Cuadro 8. Características técnicas altímetro

Voltaje de operación: 12 Vdc max
Rango de temperatura: -40°C a +85°C
Rango de presión: 0 a 15.0 Psi

Estos sensores una vez se hallan activado por los parámetros dados son los encargados de activar el sistema de recuperación.

Estos sensores cumplen con todas las características técnicas requeridas para este proyecto, su costo es accesible y de fácil adquisición en el mercado.

8.5. OTROS COMPONENTES

8.5.1 Motor (HG2376-E2.0S).

Figura 31. Motor



Cuadro 9. Características técnicas motor

Torque N.cm	Corriente A/Fase	Resistencia Ohm/Fase	Inductancia mH/Fase	Nº cables	Peso kg
175	2.8	1.2	3.6	8	1

8.5.2 Batería NiMh (Níquel Metal Hydride).

- **Cálculos batería.** La máxima frecuencia admisible para un motor paso a paso es de 625 Hz², en este caso se utilizará un factor de seguridad de 208.3Hz que es la tercera parte de la máxima frecuencia admisible.

$$208.3Hz \rightarrow 208.3 \frac{pasos}{seg}$$

$$1.8 \frac{grados}{paso} \rightarrow 200pasos$$

El motor es de 1.8º/paso para una vuelta completa serian 200pasos.

$$200pasos \rightarrow 360grados$$

Dado que 360º son representados por 200pasos, por regla de tres simple y directa puede decirse que, para 90º serian 50pasos.

$$208.3pasos \rightarrow 1seg$$

Utilizando regla de tres simple y directa se puede decir que para 50pasos serian 0.24seg, ya que el motor generará 208.3pasos en 1seg.

El consumo de corriente (A) del motor es de 2.8, para este caso el motor trabajara 0.24seg lo cual genera un consumo de corriente de 0.18mAh

$$2.8A \cdot 0.24seg \frac{1h}{3600seg} = 1.86 \times 10^{-4} Ah \quad 1.86 \times 10^{-4} \cdot 1000 = 0.18mAh$$

² Wikipedia: la enciclopedia libre [en línea]. Florida: Wikimedia Foundation, 2008. [Consultado 29 de mayo de 2008]. Disponible en Internet: <http://es.wikipedia.org/wiki/Portada>

Figura 32. Batería recargable



Cuadro 10. Características batería

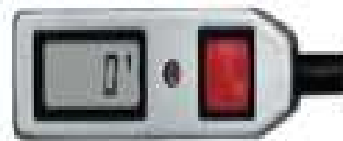
Voltaje: 9V
Corriente máxima: 270mAh
Posibilidades de carga
1 Hora a 270mA (rápida) 10 Horas 27mA (normal)

Las baterías de NiMh (Níquel Metal Hydride) tienen como ventaja la alta densidad de energía (o capacidad), esto implica un mayor tiempo de vida. Las baterías de NiMh son ambientalmente más amigables que las de NiCd ya que no contienen adiciones de Cadmio ni Plomo.

8.6. SISTEMA AUXILIAR DE RECUPERACION

8.6.1 Cypres³. “CYbernetic Parachute RElease System” (Sistema Cibernético de Despliegue de Paracaídas), es un sistema de activación automática de paracaídas. Este se compone de una unidad de control, una unidad de proceso y una unidad de corte.

Figura 33. Componentes CYPRES



Unidad de control



Unidad de proceso

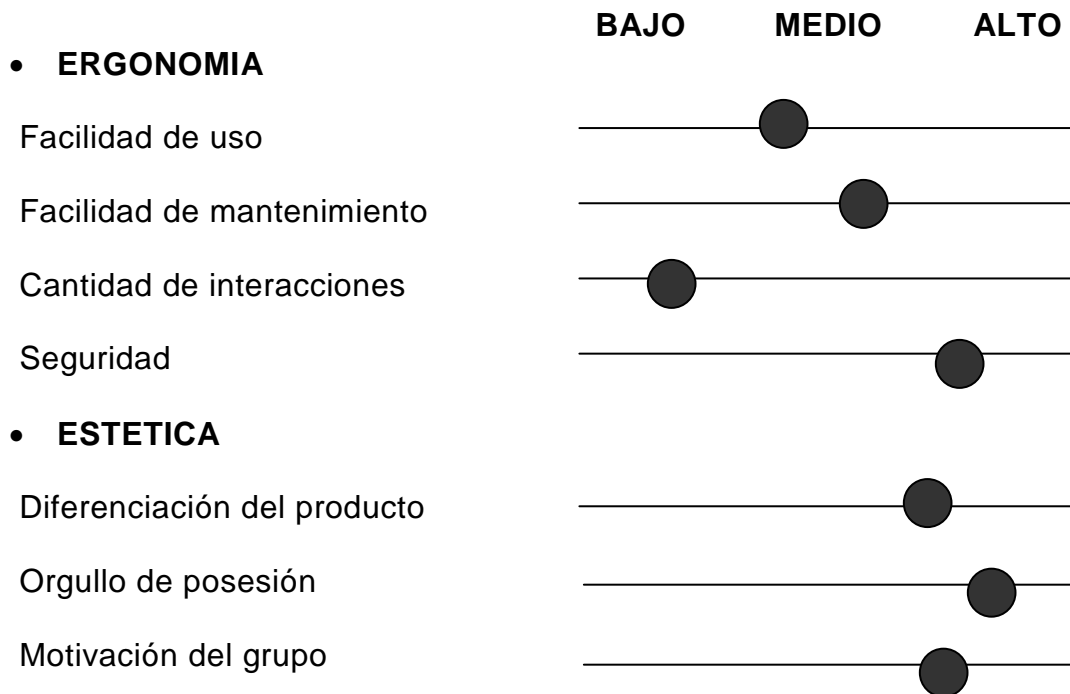


Unidad de corte

³ CYPRES-2: Manual de usuario [en línea]. Alemania: Airtec GmbH Safety Systems, 2003. [Consultado 20 de noviembre de 2007]. Disponible en Internet: <http://www.cypres-2.com>

9. DISEÑO INDUSTRIAL

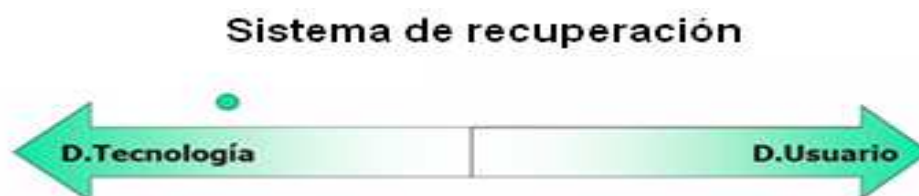
9.1. VALORACION DEL DISEÑO INDUSTRIAL



9.2. PREDOMINIO DEL DISEÑO INDUSTRIAL

Este producto esta dominado por la tecnología ya que está diseñado para realizar una tarea técnica específica.

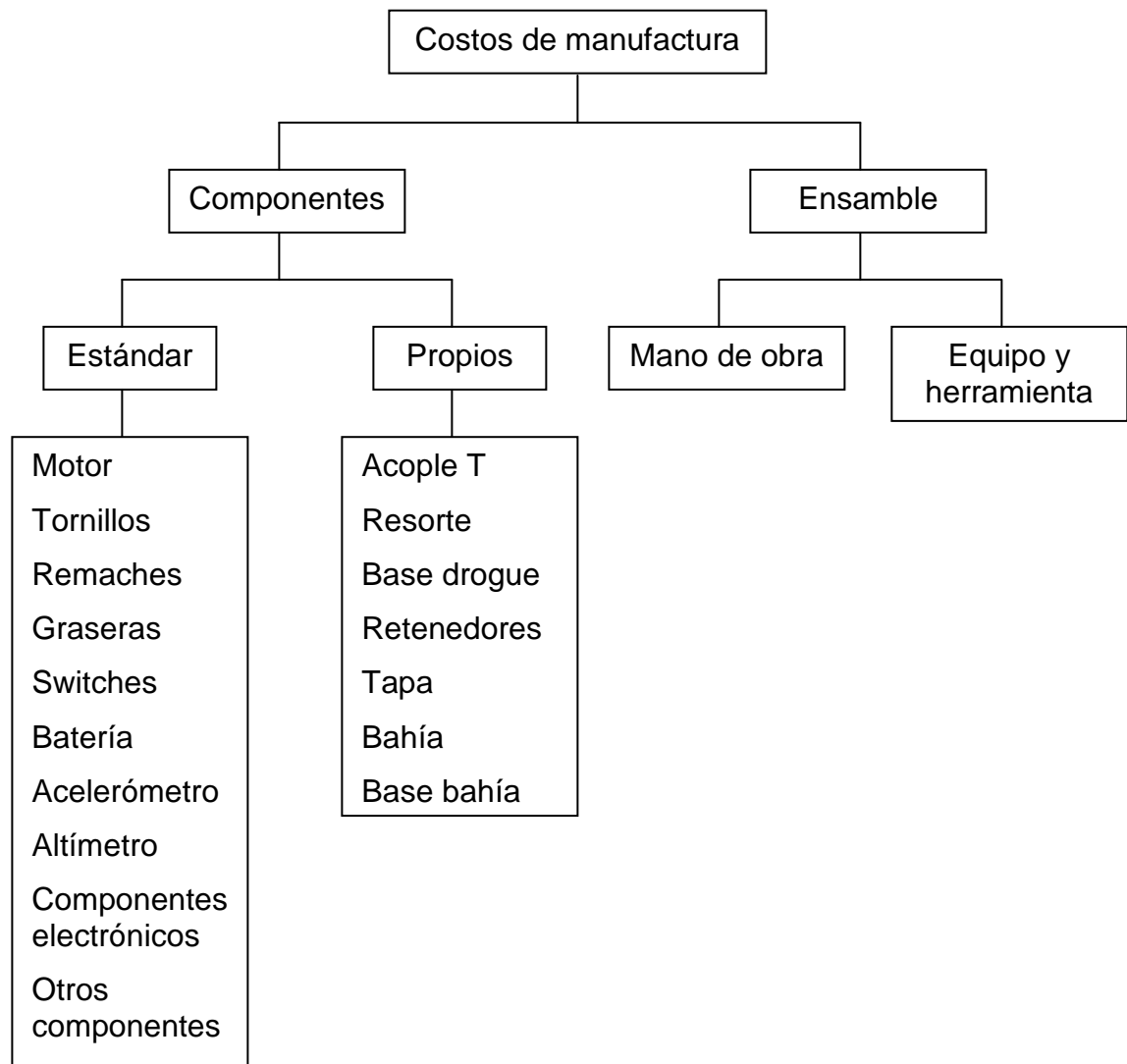
Figura 34. Predominio del diseño industrial



10. DISEÑO PARA MANUFACTURA

10.1. COSTOS DE MANUFACTURA


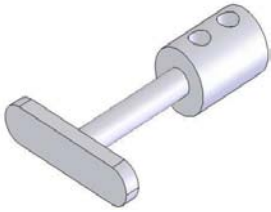
Figura 35. Costos de manufactura

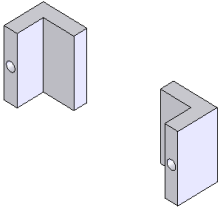
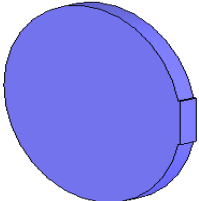
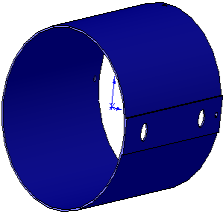
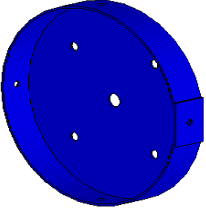


Cuadro 11. Costo de componentes estándar

Componentes estándar	Costo (pesos)	Cantidad
Motor	82171	1
Batería	20000	1
Acelerómetro	58210	1
Altímetro	45466	1
Componentes electrónicos	50000	
Otros componentes	10000	
TOTAL	265847	

Cuadro 12. Componentes propios

Pieza	Material	Densidad <i>Kg/m³</i>	Masa <i>Kg</i>	Proceso manufactura	Cantidad
 Resorte	Acero ASTM A227	7800	0.16	Corte, enrollado de alambre, tratamiento térmico, rectificado	1
 Acople T	Acero	7800	0.02	Torneado, fresado, taladrado	1
 Base drogue	Aluminio	2700	0.10	Torneado, taladrado	1

 <p>Retenedores</p>	Acero	7800	0.01	Corte, rectificado, taladrado	2
 <p>Tapa</p>	Plástico	920	0.01	Torneado	1
 <p>Bahía</p>	Aluminio	2700	0.13	Torneado, fresado, taladrado	1
 <p>Base bahía</p>	Aluminio	2700	0.04	Torneado, fresado, taladrado	1

11. PROTOTIPADO VIRTUAL

11.1. PROTOTIPO FINAL

Se optimizó el diseño del concepto seleccionado anteriormente debido a requerimientos del cliente, algunas mejoras fueron:

- **Posición del motor.** Se reubicó el motor en la parte inferior de la bahía ya que esto facilita la instalación, también permitió diseñar un resorte de bajo peso y de diámetro menor.
- **Tamaño del resorte.** Se minimizó el costo, peso y diámetro exterior del resorte de expulsión, disminuyendo el diámetro del hilo de esté.
- **Rediseño de la bahía.** Aplicando los conceptos de diseño para manufactura y ensamble, se rediseño la base, quedando está independiente del resto de la bahía, facilitando el ensamble de los componentes del sistema y su mantenimiento.

Figura 36. Sistema no accionado

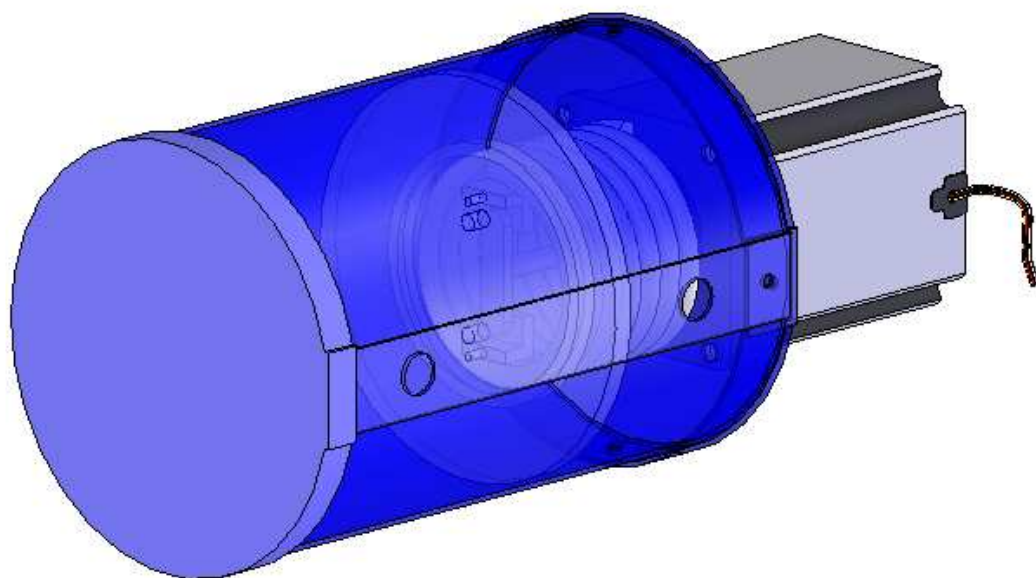


Figura 37. Sistema accionado

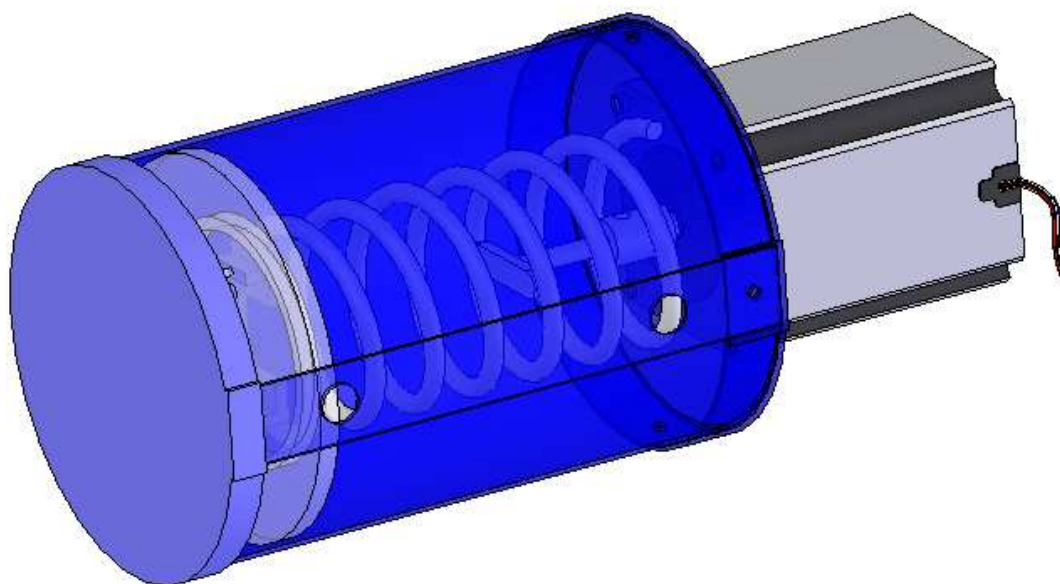
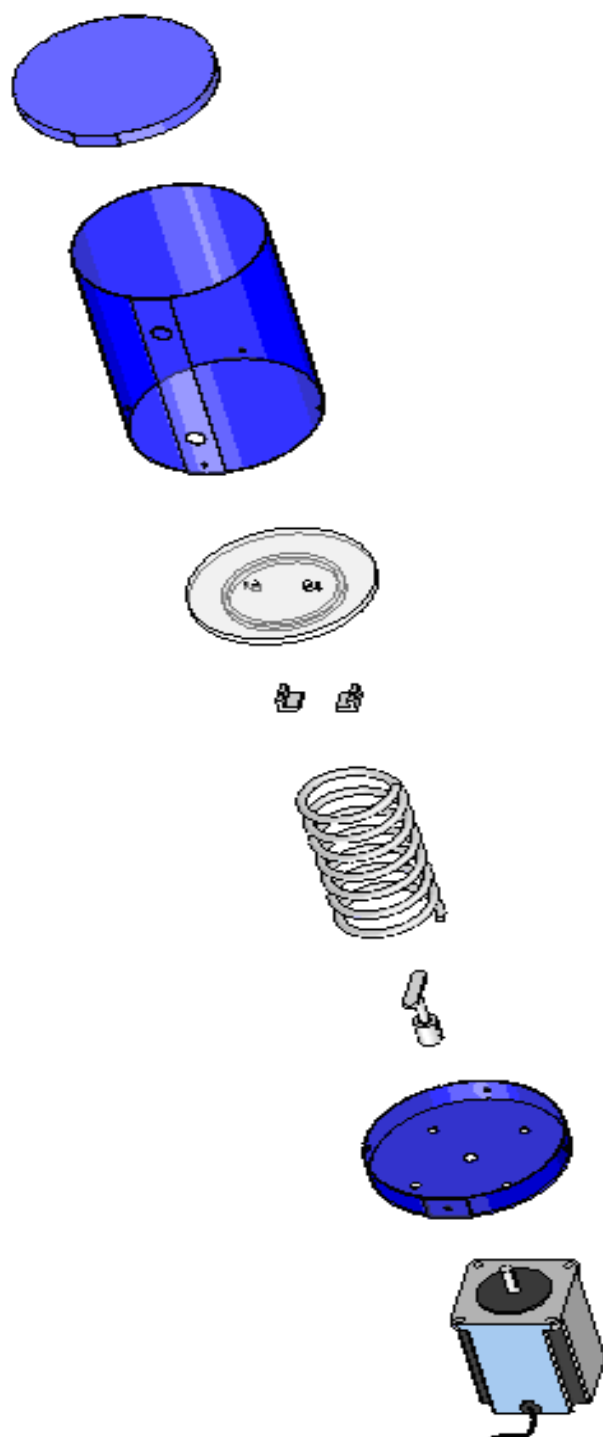


Figura 38. Vista explosionada del sistema



12. DISEÑO DETALLADO

12.1. CALCULOS

12.1.1 Calculo de tensiones en el paracaídas principal.

$$(Diferencia\ de\ velocidades / tiempo) \times masa = Tensión \quad (1)$$

$$Tensión\ de\ cada\ cable = \frac{Tensión}{N^{\circ} cables} \quad (2)$$

Análisis de la primera etapa cayendo sin paracaídas

Figura 39. Caída sin paracaídas



El flujo del aire en este primer análisis se considera un flujo laminar, por lo tanto la fuerza de resistencia del aire es igual a $K \cdot V$

F_r = Fuerza resistencia del aire (aproximada) = $12.5 Kg\ m / s^2$ ⁴

W = Peso primera etapa (sin combustible) = $1068 Kg$

⁴ CHAPRA, Steven C. Métodos numéricos para ingenieros. México: McGraw Hill, 1988. p. 15.

$$F=ma \quad F=W-Fr \quad m=W/g \quad g=9.8m/s$$

$$109 \dot{V} = 1068 - 12.5V$$

Resolviendo por Laplace

$$\ell \rightarrow \frac{1068}{s} - 12.5V(s) = 109sV(s)$$

$$V(s)[109s + 12.5] = \frac{1068}{s}$$

$$V(s) = \frac{1068}{s[109s + 12.5]} \Rightarrow \frac{1068}{109s^2 + 12.5s}$$

Dando como resultado la siguiente ecuación

$$V = 85.44 \left(1 - e^{-0.1147 t} \right)$$

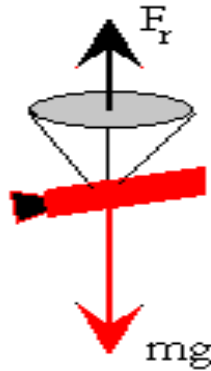
Cuadro 13. Especificaciones (T-10R) paracaídas principal⁵

Diámetro	7.32m (24ft)
Peso	5.5kg (12lb)
Máximo peso soportado	136kg (300lb)
Velocidad de descenso para 99Kg	6.7m/s (22ft/s)

⁵ Parachutes: T10 R [en línea]. EEUU: AS Airborne Systems, 2002. [Consultado 28 de febrero 2008]. Disponible en Internet: <http://www.airbornesystems-na.com>

Análisis de la primera etapa con paracaídas abierto

Figura 40. Caída con paracaídas



El flujo del aire en este análisis se considera un flujo turbulento, por lo tanto la fuerza de resistencia del aire es igual a $K \cdot V^2$

Fr = Fuerza resistencia del aire = 19.5 Kg m/s^2 (paracaídas abierto)

W = Peso primera etapa (sin combustible) = 1068 Kg

Esta fuerza (Fr) se calculó de la siguiente manera:

Como la velocidad de descenso del paracaídas es de 6.7 m/s para una masa de 99 kg , por regla de tres simple y directa para una masa de 109 kg sería de 7.4 m/s aproximadamente (velocidad terminal), con estos datos se puede determinar la fuerza de resistencia del aire (Fr) para un paracaídas abierto.

$$\sum_x F = ma = 0$$

$$W - kV^2 = 0$$

$$1068 - k \cdot 7.4^2 = 0$$

$$k = 19.5$$

La velocidad límite se corrobora por matlab resolviendo por integradores

$$\dot{V} = 9.798 - 0.179V^2$$

Figura 41. Ecuación resuelta por integradores en matlab

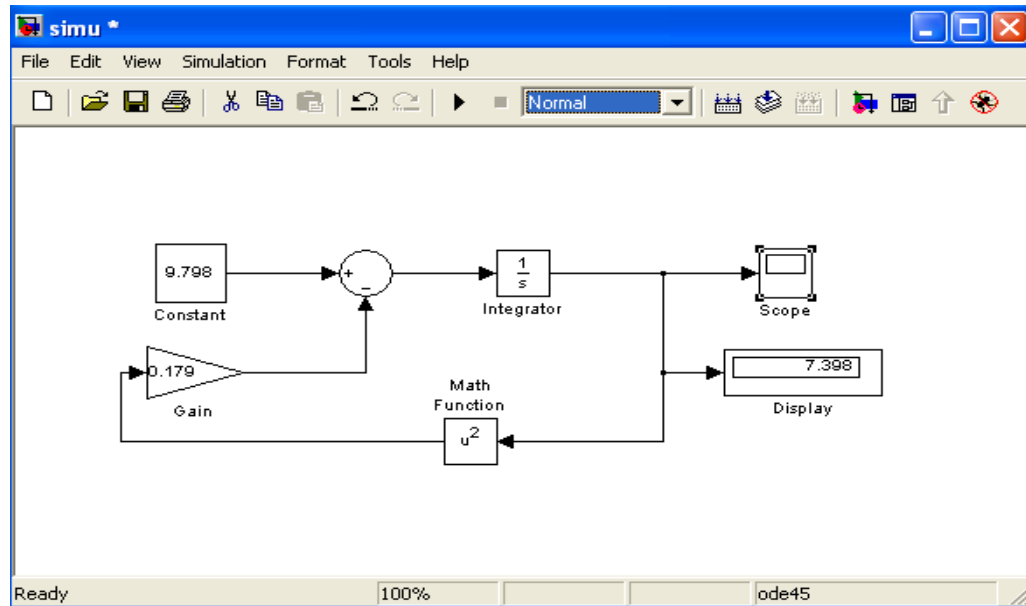
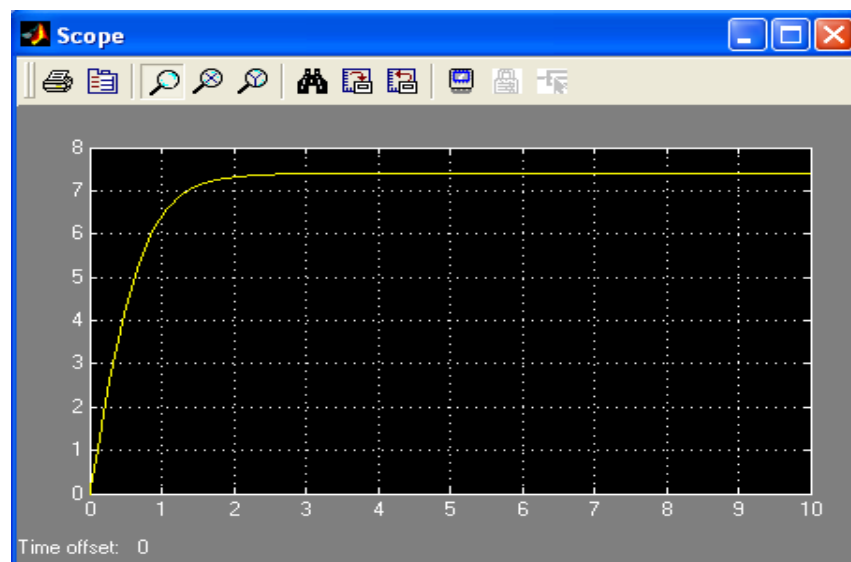


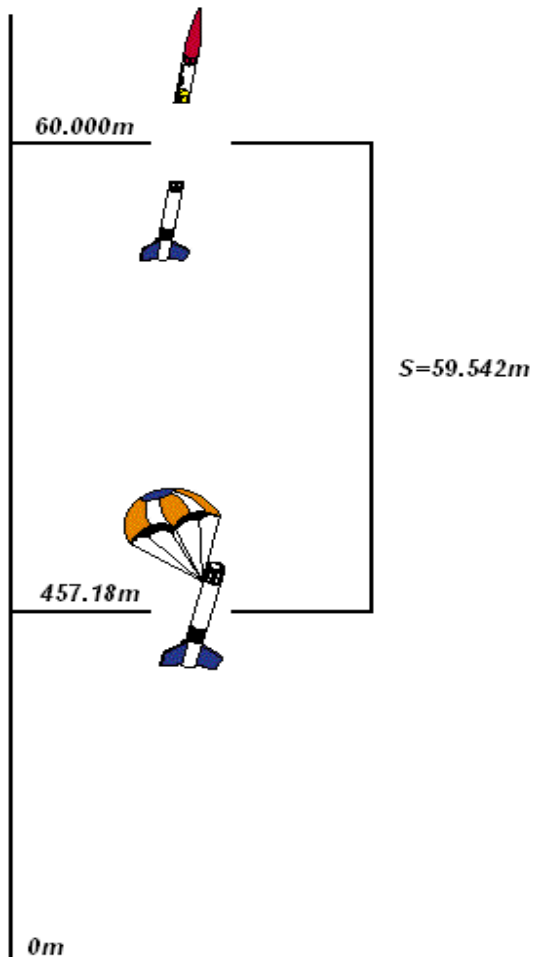
Figura 42. Grafica de la velocidad limite o terminal



Por medio de esta grafica se puede observar que la velocidad límite es $7.398m/s$.

Haciendo uso de ecuaciones cinemáticas

Figura 43. Separación y expulsión



$$S = V_i \cdot t + 1/2 g \cdot t^2$$

$V_i = 0$ En caída libre

$$S = 1/2 g \cdot t^2 \quad g = 9.8m/s^2$$

$$t = \sqrt{\frac{2S}{9.8}} = 110s$$

En 110s aproximadamente la primera etapa se encuentra a 457.18m

$$t = \frac{V_f - V_i}{g}$$

$$t = \frac{7.4m/s - 85.44m/s}{9.8m/s^2}$$

$$t = 7.96s \text{ Aproximadamente}$$

De la ecuación (1) se calculará la tensión total del paracaídas

$$\left(\frac{85.44m/s - 7.4m/s}{7.96s} \right) \cdot 109 = 1069N$$

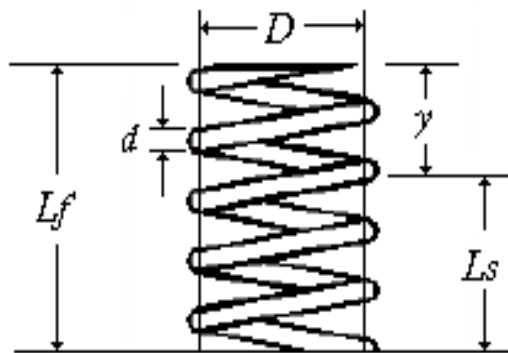
De la ecuación (2)

$$\frac{1069N}{28} = 38.2N$$

La tensión calculada para cada línea del paracaídas es de aproximadamente 38.2N

12.1.2 Calculo del resorte de expulsión.

Figura 44. Variables resorte



Fuerza de expulsión requerida (F) = 100 lbf

Deflexión (y) = 2.756 in

Diámetro alambre (d) = 0.192 in (5 mm) (Ver anexo A)

Índice resorte (c)

$$c = \frac{D}{d} = \frac{1.968in}{0.192in} = 10.2$$

Factor de cortante directo (K_s)

$$K_s = \left(1 + \frac{0.5}{c}\right) = 1.05$$

Esfuerzo cortante (τ)

$$\tau = K_s \frac{8FD}{\pi \cdot d^3} = 1.05 \frac{8(100)(1.968)}{\pi(0.192)^3} = 74345 \text{ Psi}$$

Resistencia máxima a la tensión (S_{ut}) material ASTM A227

$$S_{ut} = Ad^b = 141040(0.192)^{-0.1822} = 190513 \text{ Psi} \quad (\text{Ver anexo A})$$

Limite elástico a la torsión (S_{ys})

$$S_{ys} = 0.60S_{ut} = 114307 \text{ Psi} \quad (\text{Ver anexo A})$$

Factor de seguridad – fluencia (N_s)

$$N_s = \frac{S_{ys}}{\tau} = 1.54$$

Constante del resorte (k)

$$k = \frac{F}{y} = \frac{100}{2.756} = 36.28 \text{ lb/in}$$

Nº de espiras activas (N_a)

$$N_a = \frac{d^4 G}{8D^3 k} = \frac{(0.192)^4 \cdot 11.5E6}{8(1.968)^3 \cdot 36.28} = 7.06 \approx 7$$

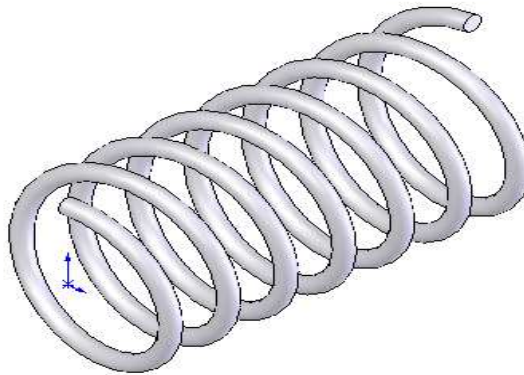
Nº total de espiras (N_t) extremos cuadrados y rectificados

$$N_t = N_a + 2 = 9$$

Altura de cierre (L_s)

$$L_s = dN_t = 0.192(9) = 1.728 \text{ in}$$

Figura 45. Resorte de expulsión



12.1.3 Selección del motor. Para la selección del motor primero se procederá en calcular la fricción entre los retenedores y el acople en T, luego se calculará el torque necesario para que el motor pueda vencer la fricción, con esto se puede seleccionar un buen motor a utilizar en esta aplicación.

Cuadro 14. Coeficientes de fricción

Coeficiente de fricción	μ_s	μ_k
Acero sobre acero (seco)	0.6	0.4
Acero sobre acero (lubricado)	0.1	0.05

μ_s = fricción estática

μ_k = fricción cinética

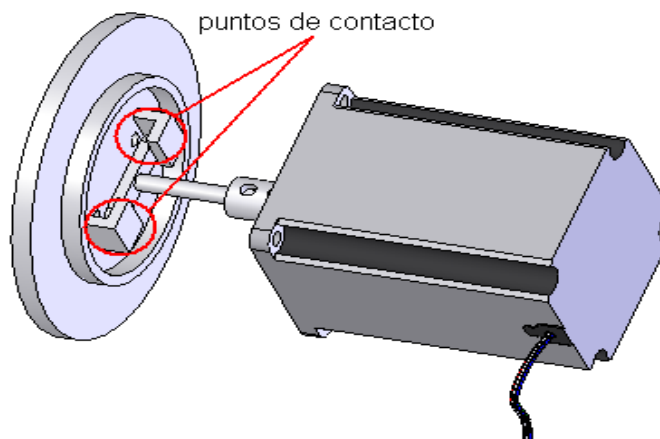
$$F_f = \mu_s F_N = 0.1 \cdot (100 \text{ lbf}) = 10 \text{ lbf}$$

$$\tau_{motor} = 10 \cdot (0.59) = 5.9 \text{ lbf.in} \Rightarrow 66.7 \text{ N.Cm}$$

Este torque calculado es para un solo punto de contacto del acople en T, se multiplicará por dos ya que el motor deberá vencer estos dos puntos de contacto.

$$\tau_{motor} = 133.4 \text{ N.Cm}$$

Figura 46. Puntos de contacto



12.2. PRUEBAS DE LABORATORIO

Se realizaron algunas pruebas de laboratorio para calcular las fuerzas mínimas necesarias del sistema.

12.2.1 Fuerza necesaria para la expulsión del drogue y la tapa.

Cuadro 15. Pruebas de expulsión

Pruebas	Unidades		
	<i>gr</i>	<i>lbf</i>	<i>N</i>
Prueba Nº 1	5000	11	48.93
Prueba Nº 2	4500	9.9	44.03
Prueba Nº 3	4400	9.68	43.06
Prueba Nº 4	4300	9.46	42.08
Prueba Nº 5	4200	9.24	41.10
Prueba Nº 6	4000	8.8	39.14

Se puede observar que a medida que se fueron realizando las pruebas, la fuerza fue disminuyendo, esto debido a que la tapa de plástico va cediendo a medida que pasan las pruebas.

Se decidió trabajar con la fuerza de la primera prueba, como esta fuerza es la mínima necesaria para la expulsión de la tapa se decidió aumentarla 9 veces, dando como resultado una fuerza aproximada de 100 *lbf*.

Cuadro 16. Elementos y pruebas de laboratorio

	<p>Elementos usados para medir la fuerza mínima aproximada para expulsar la tapa del sistema.</p>
	<p>Elementos usados para medir la fuerza para la expulsión del drogue.</p>
	<p>Se puede observar que la fuerza mínima para desplazar el drogue que pesa 1/lb es de aproximadamente 4.1N.</p>
	<p>Para calcular la fuerza aproximada necesaria para la expulsión de la tapa se uso un peso de 5000gr, ya que con este peso se logro la expulsión de la tapa.</p>

12.2.2 Prueba tensión pita (cuerda) paracaídas.

Cuadro 17. Prueba Maquina Universal de Ensayos UTS 200.3

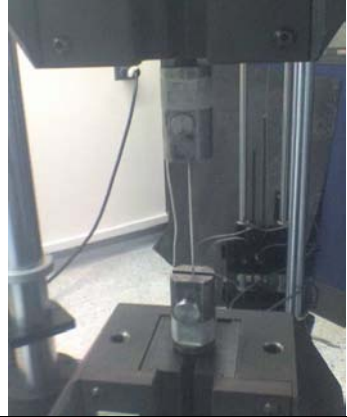


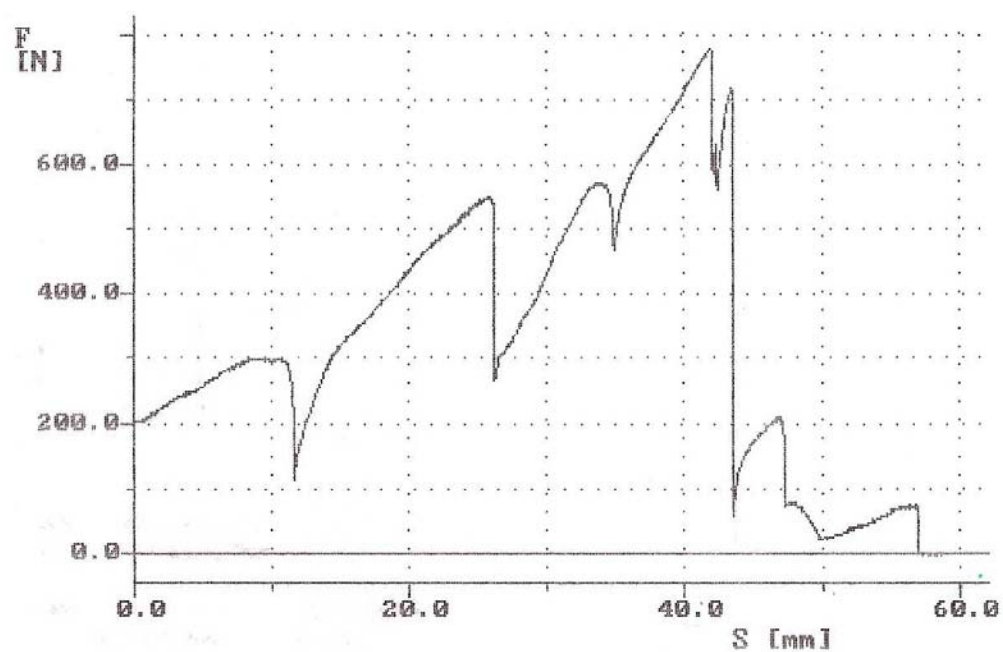
	<p>La pita (cuerda) se colocó en dos mordazas para ubicarla en la Maquina Universal de Ensayos UTS 200.3.</p>
	<p>Antes de la ruptura la pita (cuerda) sufrió una elongación de 41.952mm.</p>
	<p>Ruptura de la pita (cuerda) a 779.561N.</p>

Figura 47. Grafica F vs S



Se puede observar en la Figura 47 que la ruptura de la pita (cuerda) se produjo a 779.561 N con una elongación de 41.952 mm .

13. CONCLUSIONES

- Se diseñó un sistema mecánico-electrónico que permite la expulsión de un paracaídas auxiliar y posteriormente un paracaídas principal, cumpliendo así con los requerimientos dados en la escuela militar de aviación Marco Fidel Suárez.
- Se calcularon las fuerzas del paracaídas principal al igual que sus tensiones para evitar la pérdida de la primera etapa.
- El sistema es capaz de recibir la señal electrónica de cada uno de los sensores utilizados para activar el mecanismo de expulsión.
- Se diseñó un prototipo virtual en Solid Works del sistema de expulsión del paracaídas auxiliar (drogue).
- Este producto se desarrolló aplicando una metodología de diseño estructurado y concurrente la cual permitió optimizar el diseño del sistema dando satisfacción al grupo de diseño.
- Con el desarrollo de este producto se puede motivar a la comunidad científica e incursionar en el desarrollo de tecnología aeronáutica.

BIBLIOGRAFÍA

CHAPRA, Steven C. Métodos numéricos para ingenieros. México: McGraw Hill, 1988. 641 p.

CYPRES-2: Manual de usuario [en línea]. Alemania: Airtec GmbH Safety Systems, 2003. [Consultado 20 de noviembre de 2007]. Disponible en Internet: <http://www.cypres-2.com>

GOLUBITSKY, Martin. Álgebra lineal y ecuaciones diferenciales con MATLAB. México: Thomson Learning, 2001. 564 p.

MOORE, Thomas A. Física: seis ideas fundamentales. 2 ed. México: McGraw Hill, 2005. 794 p.

NORTON, Robert L. Diseño de máquinas. México: Prentice Hall, 1999. 1048 p.

Parachutes: T10 R [en línea]. EEUU: AS Airborne Systems, 2002. [Consultado 28 de febrero 2008]. Disponible en Internet: <http://www.airbornesystems-na.com>

SCHEY, John A. Procesos de manufactura. 3 ed. México: McGraw Hill, 2002. 1003 p.

ULRICH, Karl T. Desarrollo y diseño de productos: enfoque multidisciplinario. 3 ed. México: McGraw-Hill, 2004. 366 p.

Wikipedia: la enciclopedia libre [en línea]. Florida: Wikimedia Foundation, 2008. [Consultado 29 de mayo de 2008]. Disponible en Internet: <http://es.wikipedia.org/wiki/Portada>

ANEXOS

Anexo A. Tablas para el diseño del resorte de expulsión

Figura 48. Diámetros de alambre

U.S. (in)	SI (mm)
0.004	0.10
0.005	0.12
0.006	0.16
0.008	0.20
0.010	0.25
0.012	0.30
0.014	0.35
0.016	0.40
0.018	0.45
0.020	0.50
0.022	0.55
0.024	0.60
0.026	0.65
0.028	0.70
0.030	0.80
0.035	0.90
0.038	1.00
0.042	1.10
0.045	
0.048	1.20
0.051	
0.055	1.40
0.059	
0.063	1.60
0.067	
0.072	1.80
0.076	
0.081	2.00
0.085	2.20
0.092	
0.098	2.50
0.105	
0.112	2.80
0.125	3.00
0.135	3.50
0.148	
0.162	4.00
0.177	4.50
0.192	5.00
0.207	5.50
0.225	6.00
0.250	6.50
0.281	7.00
0.312	8.00
0.343	9.00
0.362	
0.375	
0.406	10.0
0.437	11.0
0.469	12.0
0.500	13.0
0.531	14.0
0.562	15.0
0.625	16.0

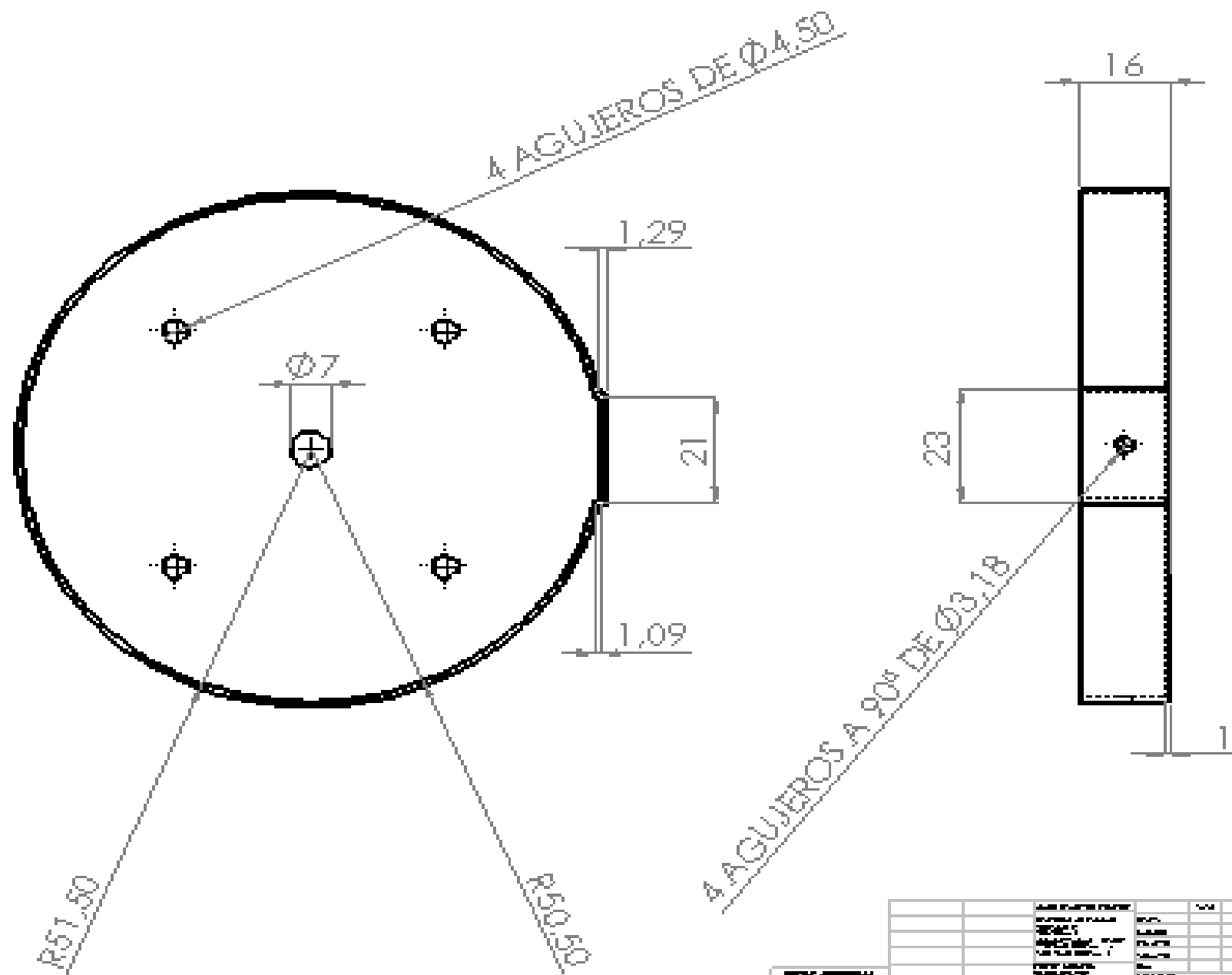
Figura 49. Coeficientes y exponentes resistencia máxima a la tensión

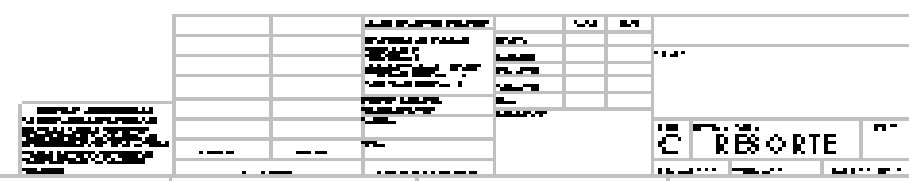
ASTM #	Material	Rango		Exponente b	Coeficiente A		Factor de correlación
		mm	in		MPa	psi	
A227	Estirado en frío	0.5-16	0.020-0.625	-0.182 2	1 753.3	141 040	0.998
A228	Alambre de piano	0.3-6	0.010-0.250	-0.1625	2 153.5	184 649	0.9997
A229	Revenido en aceite	0.5-16	0.020-0.625	-0.183 3	1 831.2	146 780	0.999
A232	Cromo vanadio	0.5-12	0.020-0.500	-0.145 3	1 909.9	173 128	0.998
A401	Cromo silicio	0.8-11	0.031-0.437	-0.093 4	2 059.2	220 779	0.991

Figura 50. Porcentaje máximo de la resistencia máxima a la tensión

Material	Porcentaje máximo de la resistencia máxima a la tensión	
	Antes del asentamiento	Después del asentamiento
Acero al carbono patentado y estirado en frío	45%	60-70%
Acero al carbono endurecido y revenido de baja aleación	50	65-75
Acero inoxidable austenítico	35	55-65
Aleaciones no ferrosas	35	55-65

Anexo B. Planos mecánicos





DISEÑO DE UN SISTEMA DE RECUPERACION MEDIANTE PARACAIDAS DE LA PRIMERA ETAPA DE UN COHETE PARA COLOCACION DE PICOSATELITES EN ORBITA BAJA

**Vladimir fernando benavides figueroa
Jhon edwin cuenca madrid**

Universidad autónoma de occidente
vlabe7@hotmail.com
jhonc27@hotmail.com
Santiago de Cali

Abstract: El presente trabajo tiene como objetivo mostrar el diseño de un sistema que mediante una señal electrónica active un dispositivo mecánico-electrónico para la expulsión de un paracaídas auxiliar (drogue) que dará inicio al frenado y posteriormente abrirá un paracaídas principal, logrando así la recuperación del cohete.

1. INTRODUCCION

Una de las fases más importantes en la elaboración de un cohete es el desarrollo del sistema de recuperación de sus etapas ya que con esto se pueden volver a utilizar para un nuevo lanzamiento y evitar que se convierta en un elemento peligroso ya que este puede caer a una elevada velocidad.

En este caso la recuperación del cohete se dará utilizando un altímetro, un timer y un acelerómetro, los cuales permiten accionar un sistema para la expulsión del paracaídas auxiliar y principal.

2. SISTEMA DE RECUPERACION

Este diseño consiste en un motor que recibe la señal de activación del sistema electrónico, el cual libera un resorte comprimido a través de un acople en T asegurado por dos retenedores, permitiendo así la expulsión del drogue.

Hay tres formas de activación del motor, ya sea por las señales de los sensores (acelerómetro y/o altímetro) o por un timer programado en el microprocesador el cual se activa una vez se halla separado las dos etapas del cohete por medio de un interruptor final de carrera.

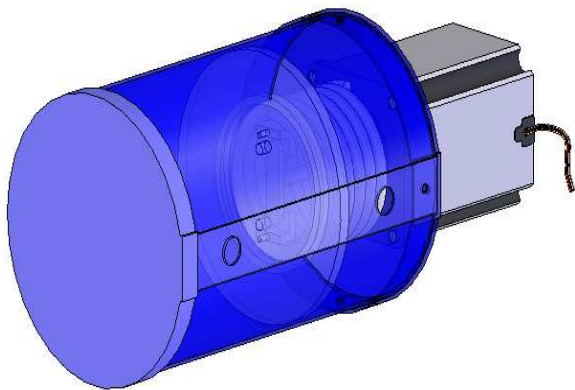


Fig. 1. Sistema no accionado.

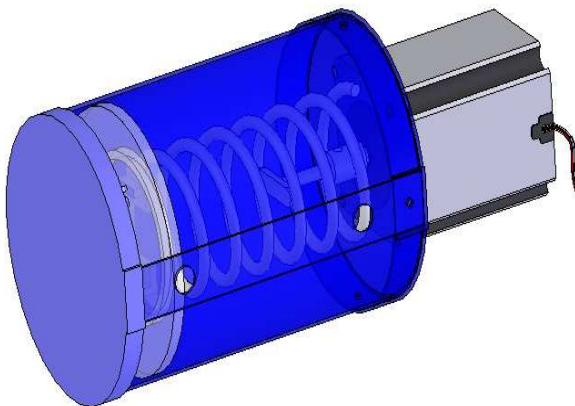


Fig. 2. Sistema accionado.

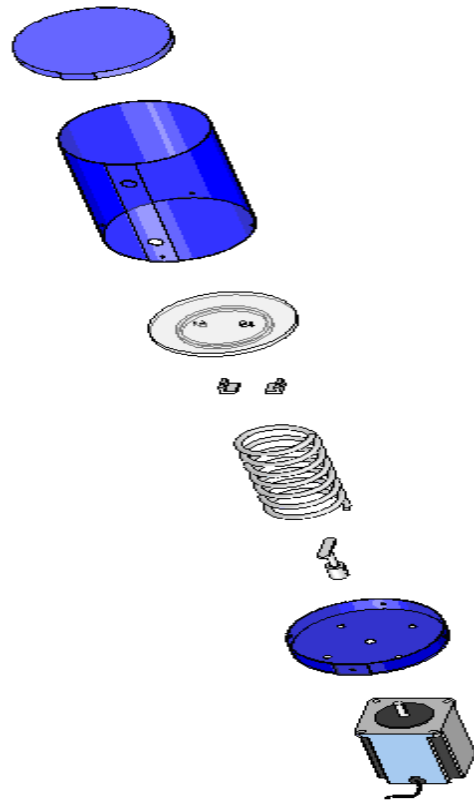


Fig. 3. Vista explosionada del sistema.

3. VENTAJAS DEL DISEÑO

El sistema de recuperación diseñado brinda una mayor seguridad al personal y al propio cohete a comparación de los dispositivos existentes por métodos pirotécnicos (pólvora), ya que hay que tener en cuenta que el cohete consta de tanques de combustible y alguna falla en el dispositivo pirotécnico provocaría la explosión de éste ocasionando así daño al personal o al cohete, otra ventaja que brinda este diseño es el bajo peso que tiene todo el sistema.

4. SENSORES DE ACTIVACION

Estos sensores una vez se hallan activado por los parámetros dados son los encargados de activar el sistema de recuperación.

Estos sensores cumplen con todas las características técnicas requeridas para este proyecto, su costo es accesible y de fácil adquisición en el mercado.

4.1. ACELEROMETRO (ADXL330)

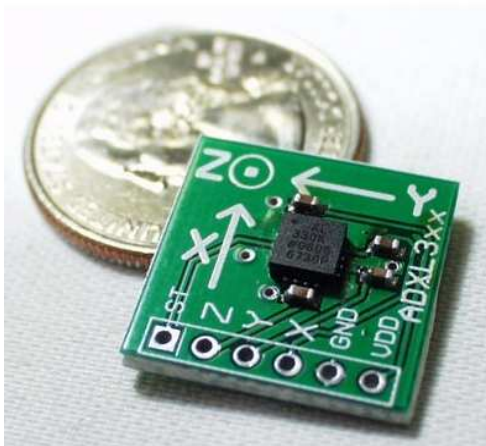


Fig. 4. Acelerómetro

Triple eje (X Y Z)
Rango del sensor: +/- 3g
Voltaje de operación: 2.0 a 3.6 V
Rango de temperatura: -25°C a +70°C
Dimensiones: 4 x 4 x 1.45 mm

Cuadro 1. Características técnicas acelerómetro

4.2. ALTÍMETRO (24PC15SMT)

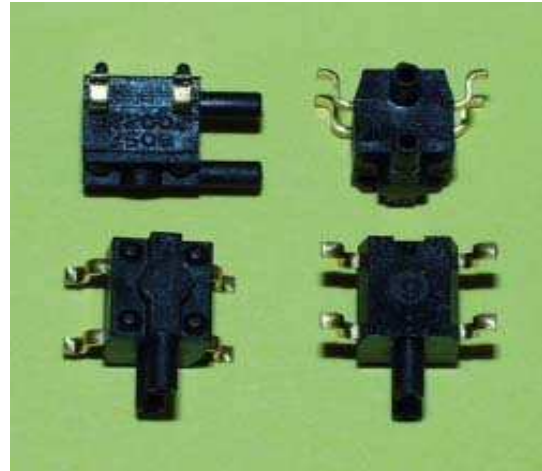


Fig. 5. Altímetro

Voltaje de operación: 12 Vdc max
Rango de temperatura: -40°C a +85°C
Rango de presión: 0 a 15.0 Psi

Cuadro 2. Características técnicas altímetro

5. CONCLUSIONES

- Se diseñó un sistema mecánico-electrónico que permite la expulsión de un paracaídas auxiliar y posteriormente un paracaídas principal, cumpliendo así con los requerimientos dados en la escuela militar de aviación Marco Fidel Suárez.
- Se calcularon las fuerzas del paracaídas principal al igual que sus tensiones para evitar la pérdida de la primera etapa.
- El sistema es capaz de recibir la señal electrónica de cada uno de los sensores utilizados para activar el mecanismo de expulsión.
- Se diseñó un prototipo virtual en Solid Works del sistema de expulsión del paracaídas auxiliar (drogue).
- Este producto se desarrolló aplicando una metodología de diseño estructurado y concurrente la cual permitió optimizar el diseño del sistema dando satisfacción al grupo de diseño.
- Con el desarrollo de este producto se puede motivar a la comunidad científica e incursionar en el desarrollo de tecnología aeronáutica.

6. BIBLIOGRAFIA

CHAPRA, Steven C. Métodos numéricos para ingenieros. México: McGraw Hill, 1988. 641 p.

CYPRES-2: Manual de usuario [en línea]. Alemania: Airtec GmbH Safety Systems, 2003. [Consultado 20 de noviembre de 2007]. Disponible en Internet: <http://www.cypres-2.com>

GOLUBITSKY, Martin. Álgebra lineal y ecuaciones diferenciales con MATLAB. México: Thomson Learning, 2001. 564 p.

MOORE, Thomas A. Física: seis ideas fundamentales. 2 ed. México: McGraw Hill, 2005. 794 p.

NORTON, Robert L. Diseño de máquinas. México: Prentice Hall, 1999. 1048 p.

Parachutes: T10 R [en línea]. EEUU: AS Airborne Systems. [Consultado 28 de febrero 2008]. Disponible en Internet: <http://www.airbornesystems-na.com>

SCHEY, John A. Procesos de manufactura. 3 ed. México: McGraw Hill, 2002. 1003 p.

ULRICH, Karl T. Desarrollo y diseño de productos: enfoque multidisciplinario. 3 ed. México: McGraw-Hill, 2004. 366 p.

Wikipedia: la enciclopedia libre [en línea]. Florida: Wikimedia Foundation, 2008. [Consultado 29 de mayo de

2008]. Disponible en Internet:
<http://es.wikipedia.org/wiki/Portada>